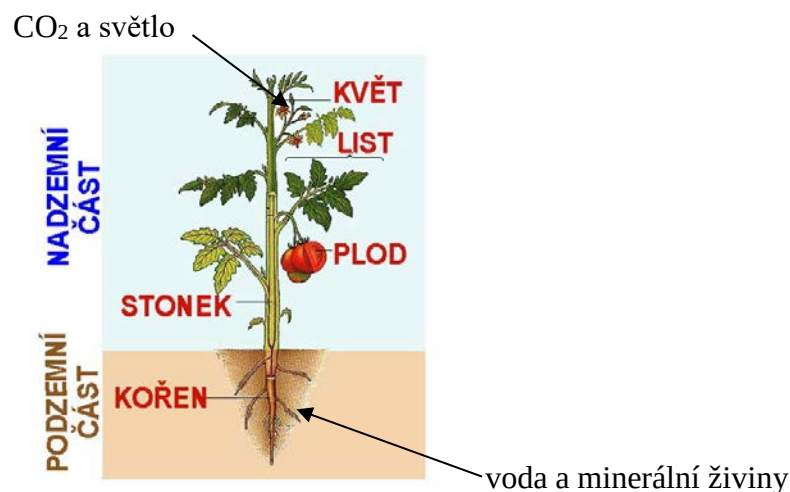


Stavba semenných rostlin I

Semenné rostliny jsou rostlinami žijícími na souši (pomineme-li skutečnost, že některé druhy se zpětně vrátily do vodního prostředí).

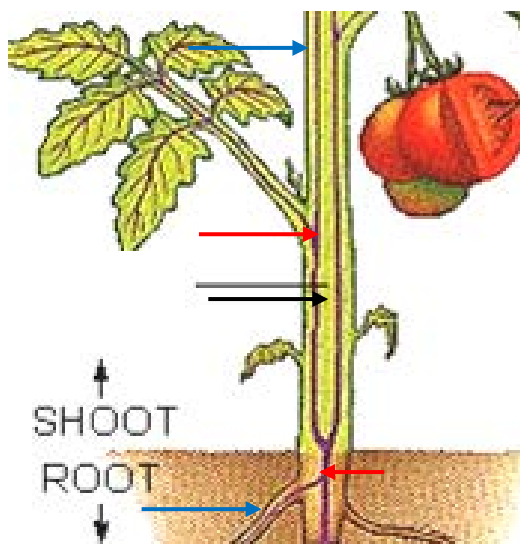
Stavba jejich těl se po přechodu z vodního prostředí postupně vyvíjela do dnešní podoby. Fotoautotrofie, díky níž jsou rostliny důležitými primárními producenty organické hmoty, byla stěžejní vlastností, která jejich vývoj ovlivňovala a od níž lze odvodit celou řadu dalších charakteristik rostlin. Vzhledem k tomu, že živiny přijímané rostlinami jsou v atmosféře a v půdě více méně všudypřítomné, rostliny se vyvinuly v nepohyblivé organismy, přesněji řečeno v organismy neschopné lokomočních pohybů, tedy pohybů z místa na místo. Vzhledem k tomu, že rostlinné živiny jsou sice v prostředí rostlin všudypřítomné, na druhou stranu ale většinou ve velmi nízkých množstvích (např. 0,04 % oxidu uhličitého v atmosféře, obsah mnohých živin v půdě), vznikla rostlinná těla s velkým vnějším povrchem, který umožňuje přijímat dostatečná množství živin. Porovnejme třeba povrch těla slona a povrch stromu o stejné hmotnosti se všemi větvemi, listy, kořeny. Dalším důležitým znakem, který se u rostlin postupně vyvinul, je charakteristický typ růstu, tzv. otevřený nebo též neukončený typ růstu. Ten je dán existencí dělivých pletiv (meristémů), která se nacházejí v určitých oblastech rostlin (např. na vrcholech kořenů či stonků). Dělivá pletiva jsou schopna během celého života rostliny produkovat nejen nové buňky a nová pletiva, ale i celé nové orgány. Neukončený růst částečně nahrazuje nepohyblivost; růstem se rostliny dostávají svými kořeny do nových oblastí půdy, rostou směrem ke zdroji světla apod. S existencí meristémů souvisí i vyšší vývojová plasticita rostlin; ta je následkem růstových odpovědí rostlin na změny faktorů prostředí. Výsledně lze říci, že konečný tvar rostlinného těla je podstatně více ovlivnitelný vnějšími podmínkami, než je tomu u živočichů. Porovnejme např. vzhled smrku z lesa v nížině (např. v Polabí) a smrku z Krkonoš rostoucího na hranici lesa. Rostlinné organismy mají také výrazně vyšší schopnost regenerace; to opět souvisí s jejich nepohyblivostí a s tím spojenou nutností vyrovnat se přímo na stanovišti se všemi vlivy, včetně vlivů nepříznivých.

Přechod z vodního prostředí na suchou zem byl v evoluci rostlin důležitým přelomem. Pokud se rostliny vyvíjely ve vodním prostředí, byly obklopené vodou a mohly přijímat jak vodu, tak v ní rozpuštěné minerální látky celým povrchem těla a zároveň byly vodou nadnášeny. Po přechodu na souš se rostliny musely vyrovnat se změnami prostředí. Jediným zdrojem vody a minerálních živin se stala půda a u rostlin se postupně vyvinuly kořeny coby podzemní orgány, které se specializovaly na příjem vody a minerálních látek z půdy a zároveň k ukotvení rostliny v půdě. Na druhém pólu rostliny se pak vyvinuly listy – tedy orgány, specializované na fotosyntézu a transpiraci. Třetím orgánem rostliny se stal stonek, jehož hlavní funkcí je spojení kořenů a listů, transport látek mezi nimi a vynášení listů do vhodné polohy pro fotosyntézu. Rostlinné organismy mají tedy pouze tři orgány: kořen, stonek a list. Stonek a list se obvykle označují společným termínem prýt. Tři rostlinné orgány zajišťují jak vegetativní funkce, tj. základní funkce nutné pro život a růst, tak i reprodukci, protože orgány spojené s reprodukcí (např. květy krytosemenných rostlin) vznikly v evoluci modifikací vegetativních orgánů, především listů. Viz obr. 1

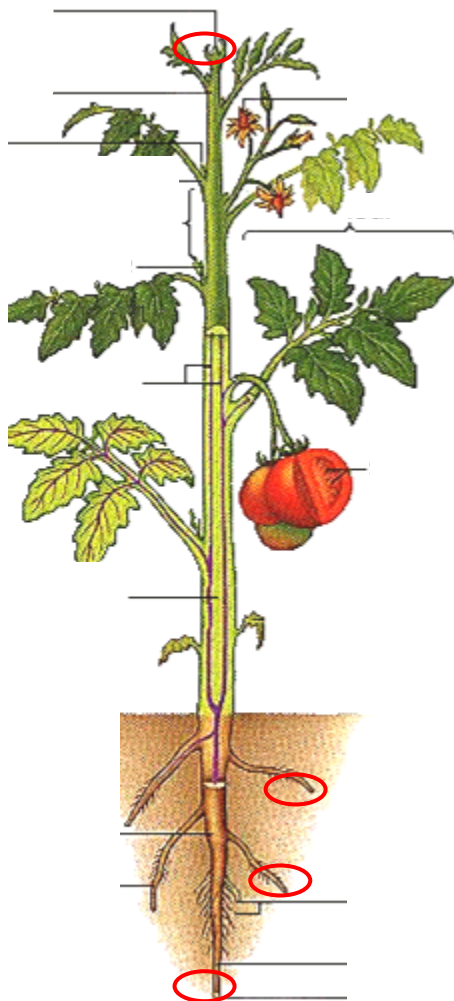


Obr. 1 Rostlinné orgány

Spolu s vnější diferenciací orgánů probíhala i jejich vnitřní diferenciacce; vznikala specializovaná pletiva. Pro přizpůsobení se životu na suché zemi měl v první řadě význam vznik pletiv krycích. Ta chrání rostlinné tělo a zároveň umožňují výměnu látek mezi rostlinou s vnějším prostředím. U nadzemních orgánů je obzvláště důležitá ochrana před vysycháním rostliny nekontrolovatelným výdejem vody do relativně suché atmosféry. Rozrůznění rostlin na orgány vedlo nezbytně i k vytvoření vodivých pletiv, která zajišťují transport dostatečného množství látek dostatečnou rychlostí mezi orgány. Dalším důležitým předpokladem úspěšného osídlení souše byl vznik mechanických pletiv; ta jsou nutná pro existenci vzpřímených forem rostlin v prostředí, kde nejsou nadnášeny vodou. Důležité bylo také vytvoření meristémů – dělivých pletiv zajišťujících neukončený růst důležitý pro existenci nepohyblivých rostlin.



Obr.2. Trvalá pletiva – modrá šipka označuje pletiva krycí, červená pletiva vodivá a černá pletiva základní

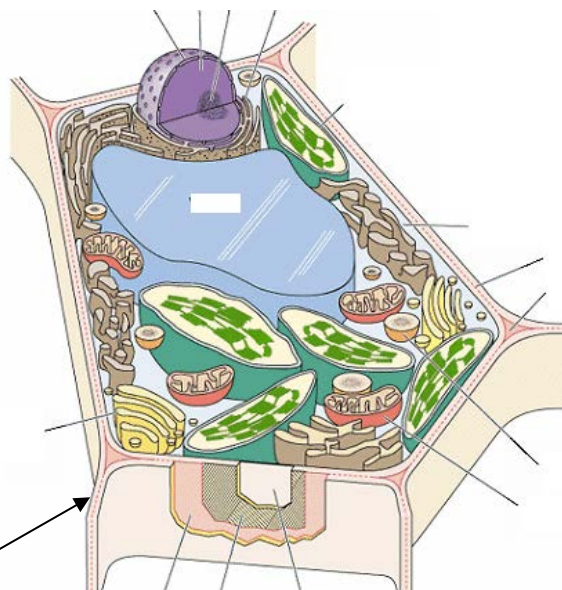


Obr. 3 Schéma stavby rostliny – červeně jsou označena dělivá pletiva (meristémy)

Rostlinná buňka

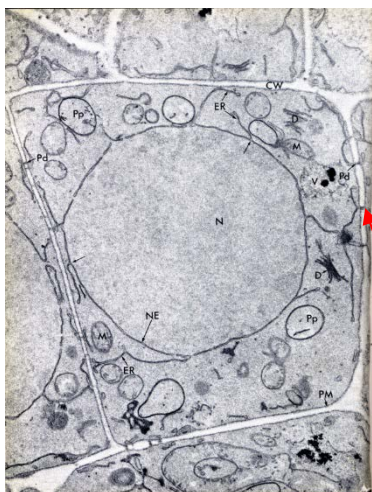
Všechny orgány rostlin jsou tvořené buňkami – buňky jsou základní strukturní jednotky rostlin. Přestože se buňky mohou významně lišit velikostí, tvarem i specializací, vyznačují se všechny určitými společnými charakteristikami.

„Typická“ rostlinná buňka je na svém povrchu kryta pevnou buněčnou stěnou, jejíž charakteristickou složkou je celulóza. Buněčná stěna ohraničuje tzv. protoplast.

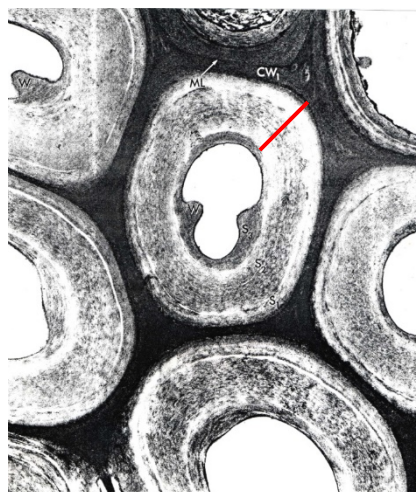


Obr. 4 Schéma typické rostlinné buňky

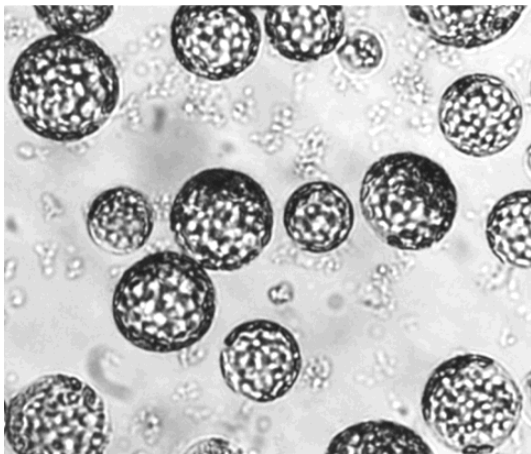
Buněčná stěna je typická součást naprosté většiny rostlinných buněk; nachází se vně protoplastu. Je mechanickou oporou, má ochrannou funkci a udržuje tvar buňky; po jejím šetrném odstranění protoplasty všech rostlinných buněk zaujímají kulovitý tvar (obr. 7). Je však propustná pro látky, které buňka musí přijímat nebo vydávat. Buněčná stěna rostlinných buněk není zcela celistvá; je na některých místech přerušována kanálky, tzv. plasmodesmy (viz červená šipka v obr. 5), které propojují sousední protoplasty a umožňují transport látek mezi nimi. Tloušťka stěny je velmi různá, závisí na funkci buňky. Silná buněčná stěna je typická především pro buňky mechanických pletiv. V některých případech může protoplast odumírat a funkci plní jen buněčné stěny (např. transport vody, opora)



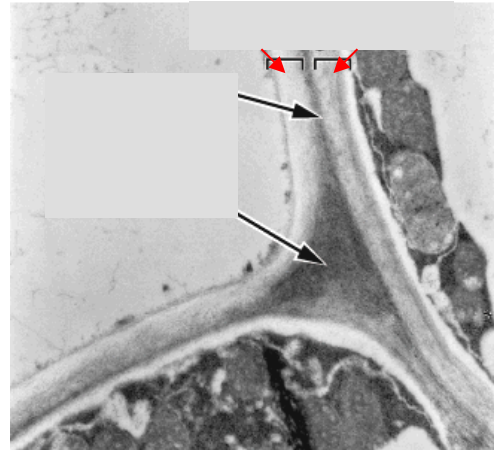
Obr. 5 Buňka s tenkou stěnou s plasmodesmy a živým obsahem
N – buněčné jádro, červená šipka - plasmodesmus



Obr. 6 Buňka se ztloustlou buněčnou stěnou a s odumřelým protoplastem

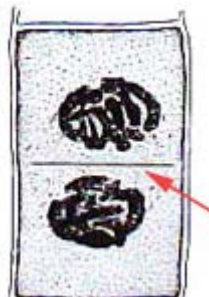


Obr. 7 Rostlinné buňky po šetrném odstranění buněčné stěny



Obr. 8 Stěna mezi třemi buňkami, černé šipky označují střední lamelu, červené primární stěny

Stěna buněčná vzniká již při dělení buňky. To je u rostlin přehrádečné (obr. 9); přepážka, která vznikne při dělení, je společná oběma dceřiným buňkám. Je to tzv. střední lamela (obr.8).



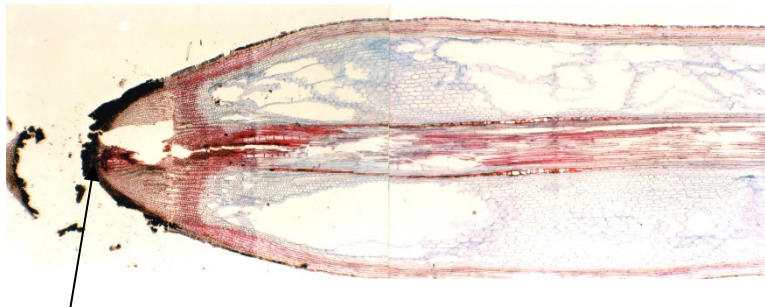
Obr. 9 Dělení rostlinné buňky – přehrádka vzniká od středu k okrajům a posléze se přemění na střední lamelu

Na střední lamelu se ukládají ze stran obou sousedních buněk tzv. primární stěny. Střední lamela tak drží pohromadě primární stěny obou sousedních buněk (obr. 8). Je složena převážně z pektinů, které se pro tuto funkci obzvláště dobře hodí, protože mají, zejména pokud jsou vázány s ionty vápenatými, povahu gelů. Schopnosti pektinů tvořit gely se využívá např. při přípravě jamů a marmelád. Při zrání některých dužnatých plodů dochází k částečnému nebo úplnému odbourání střední lamely, což vede k rozpadu pletiv na jednotlivé buňky nebo skupinky buněk.

Po skončení růstu buňky se může na primární stěnu u některých specializovaných buněk ukládat sekundární stěna, která se ukládá rovněž dostředivě. Sekundární stěna bývá často velmi tlustá (je znázorněna červenou čarou na obr. 6). Je typická pro mnohé buňky mechanických pletiv nebo pro buňky zajišťující transport vody.

Buněčné stěny rostlinných buněk obsahují jako hlavní složku polysacharid celulosu složenou z molekul glukosy. Kromě celulosy pak stěny obsahují řadu dalších polysacharidů (hemicelulosy, pektiny), ale i proteiny. Molekuly celulosy jsou ploché, nevětvené a nikdy se ve stěně nevyskytují samostatně, ale v dlouhých cylindrických svazcích – mikrofibrilách. Ty jsou velmi pevné - pevnost mikrofibril v tahu dosahuje 50 až 160 kg.mm⁻², což jsou hodnoty odpovídající ocelovým vláknům. U specializovaných typů buněk se ve stěnách vyskytují různé typy impregnujících látek jako např. lignin (dřevovina), suberin, kutin, vosky, křemičitany a další. Ukládání ligninu do stěny se nazývá lignifikace neboli dřevnatění. Nejvíce ligninu je ve dřevě (sekundárním xylému), kde např. u smrku tvoří lignin až 28 % celkové sušiny. Lignifikace zvyšuje pevnost stěny, což přispělo suchozemským rostlinám k možnosti vytvářet větší vzpřímené formy. Zvýšení pevnosti stěny je však spojeno se snížením její pružnosti. Lignifikace také snižuje propustnost buněčné stěny pro vodu a další látky. Lignin je značně

resistentní vůči enzymatickému rozkladu a omezuje tak průnik patogenů do rostlinných těl. Často dochází k lignifikaci po poranění. Díky vlastnostem ligninu patří lignifikace k důležitým obranným mechanismům rostlin.



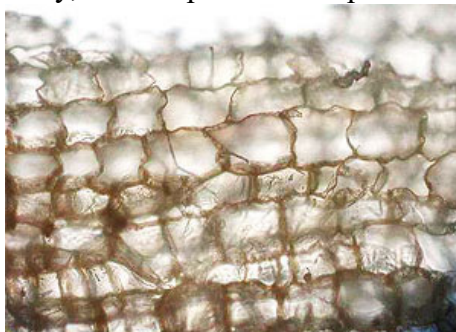
Obr. 10 Poraněná špička kořene rákosu (viz černá šipka), červeně zbarvená jsou lignifikovaná pletiva v okolí poranění

Suberin, kutin a vosky jsou hydrofobní (vodu odpuzující a pro vodu nepropustné) látky typické pro suchozemské rostliny. Hlavními složkami suberinu a kutinu jsou různé typy dlouhých mastných kyselin. Pro suberin i kutin je typická nízká propustnost pro vodu a odolnost vůči rozkladu. Vosky jsou směsí látek. Jsou to především estery vyšších mastných kyselin a vyšších alkoholů s příměsí alkanů s dlouhým řetězcem, alkoholů, kyselin a ketonů.

Kutin se ukládá v buňkách pokožky listů a stonků, kde tvoří tzv. kutikulu. V kutikule je kutin kombinován s vosky a spolu s nimi vytváří hydrofobní bariéru výdeji vody. Vosky tvoří i samostatné vrstvy na povrchu listů, stonků či plodů, tzv. epikutikulární vosky. Pokud jsou přítomny ve velkém množství, dodávají orgánům ojetý vzhled. Epikutikulární vosky přispívají k omezení výdeje vody, k resistenci vůči patogenům a mohou i odrážet část světelného záření.

Komerčně se získávají vosky z listů voskové palmy (*Copernicia cerifera*), původem z Brazílie, kde může vrstva epikutikulárních vosků dosahovat až 5 mm. Tento tzv. karnaubový vosk má hojně použití díky svým výborným fyzikálním vlastnostem, např. do politur na dřevěné podlahy a nábytek, v kosmetice apod.

Suberin je především ukládán v buňkách korku (součásti sekundárních krycích pletiv), na povrchu stonků a kořenů dřevin. Suberin i kutin slouží také jako účinné bariéry průniku patogenů. Suberin může, podobně jako lignin, vznikat i v důsledku poranění, kdy se suberin ukládá do stěn buněk v okolí rány, nebo např. v místě opadu listu (listové jizvy).

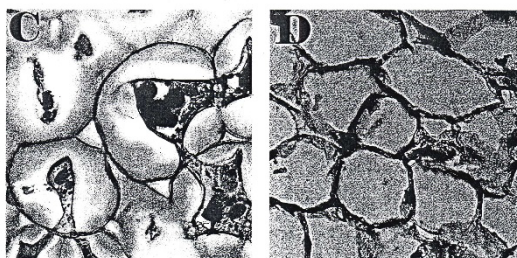


Obr. 11 Buňky se suberinem v buněčných stěnách ze stonku dubu (z woodfloordoctor.com)

Z anorganických látek jsou nejčastěji do buněčných stěn ukládány křemičitany, které se vyskytují především u některých skupin rostlin (např. trávy, ostřice, přesličky). V travách a ostřicích se ukládají hojně do pokožkových buněk listů a způsobují jejich tvrdost. Zvyšují tím mechanickou pevnost, odolnost vůči patogenním houbám a zvyšují resistenci vůči býložravému hmyzu. Zejména u trav mohou křemičité sloučeniny tvořit 5 – 20 % hmotnosti sušiny listu. V žahavých trichomech kopřiv je rovněž část stěny vyztužena křemičitými sloučeninami, které způsobují křehkost a snadné odlomení špičky trichomu. Významné množství křemičitých sloučenin je v buňkách letních lodyh přesliček, které byly díky své tvrdosti dříve používány k čištění cínového nádobí.

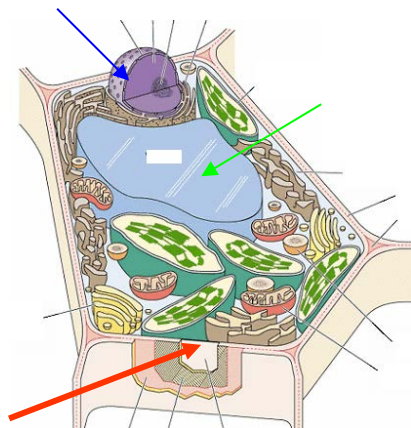
Buněčné stěny jsou významné nejen pro rostliny, ale i pro člověka. Vzhledem k tomu, že celulóza a lignin jsou dvě nejhojnější organické látky v biosféře, jsou buněčné stěny významným reservoárem uhlíku a jsou stěžejní pro koloběh uhlíku v přírodě. Krom toho jsou rostliny díky svým buněčným stěnám důležitou surovinou pro nejrůznější produkty ze dřeva, pro výrobu papíru, textilií (viz předchozí přednáška) a jsou rovněž důležitým zdrojem vlákniny v potravě.

Stěna může mít i zásobní funkce. U některých semen se do stěny ukládají zásobní polysacharidy, (např. mannany, galaktomannany, glukomannany), které jsou při klíčení rozkládány. Ukládání rezervních polysacharidů do stěn je typické pro mnohé palmy např. datlovník pravý (*Phoenix dactylifera*), dále pro kávovník arabský (*Coffea arabica*), sesam indický (*Sesamum indicum*), mnohé rostliny bobovité a další.

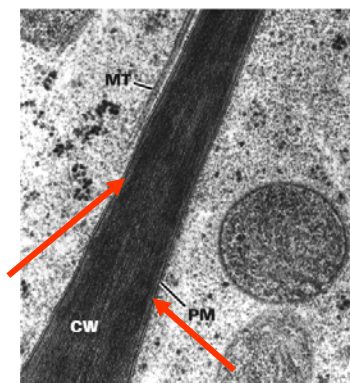


Obr. 12 Buňky ze semen pískavice řecké seno – vlevo před počátkem klíčení, se silnými stěnami obsahujícími rezervní polysacharidy, vpravo po vyklíčení, kdy byly rezervní polysacharidy odbourány a využity

Povrch protoplastu tvoří membrána zvaná plasmalema či cytoplasmatická membrána (obr. 13 a 14). Tato membrána tvoří hranici mezi vnitřním a vnějším prostorem protoplastu a reguluje výměnu látek mezi protoplastem a vnějším prostředím. U rostlinné buňky je lokalizována pod buněčnou stěnou.



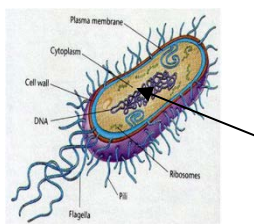
Obr. 13 Schéma rostlinné buňky, červená šipka označuje plasmalemu, modrá označuje buněčné jádro



Obr. 14 Rozhraní dvou buněk, CW – buněčná stěna, červenými šipkami jsou označeny plasmalemy dvou sousedních buněk

Základ protoplastu tvoří viskosní cytoplasma tvořená především bílkovinami, ve které se nachází mnoho rozmanitých struktur. Rostlinná buňka je buňka eukaryotní, což znamená, že její důležitou součástí je buněčné jádro obsahující genetickou informaci ve formě DNA (deoxyribonukleové kyseliny) – viz modrá šipka v obr. 13. Eukaryotní typ buněk mají krom rostlin i živočichové a houby.

Některé organismy mají tzv. prokaryotní buňky (buňky bakterií, včetně sinic). Tyto buňky nemají ohraničené jádro a jejich DNA se nachází volně uložená v protoplastu. Rovněž nemají výrazné vnitřní členění, a proto mají menší možnost specializace. Jsou to nejčastěji organismy jednobuněčné nebo tvořící jednoduchá vlákna (obr. 15 – 17).



Obr. 15 Schéma prokaryotní buňky bakterie, DNA označená šipkou



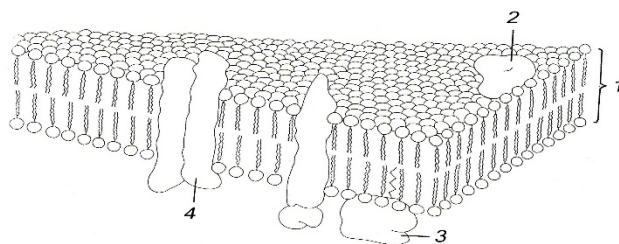
Obr. 16 Jednobuněčná sinice *Synechococcus* sp.



Obr. 17 Vlákenná sinice *Nostoc*

Nezbytnou složkou všech buněk jsou membrány. Jak již bylo řečeno, bez výjimky všechny živé buňky mají membránu na povrchu protoplastu – tzv. plasmalemu neboli cytoplasmatickou membránu. U eukaryotních buněk je kromě této membrány ještě složitý systém membrán uvnitř buňky, kde tvoří obal jádra, plastidů, mitochondrií, dále systém endoplasmatického retikula, Golgiho aparátu, vakuol a drobných váčků (vesikulů) různého druhu.

Buněčné membrány (obr. 18) jsou tvořené dvěma vrstvami lipidů; jejich tloušťka se pohybuje mezi 6 – 11 nm. Jsou tedy (pokud nejsou specificky obarvené) pozorovatelné pouze v elektronovém mikroskopu. S lipidovou matrix membrány jsou mozaikovitě spojeny různé typy bílkovin. Zatímco membránové lipidy plní funkci bariéry volnému pohybu většiny látek, membránové bílkoviny vykonávají ostatní funkce membrány. Membránové bílkoviny mohou fungovat jako přenašeče látek přes membránu, jako enzymy, nebo jako receptory různých signálů (např. fytohormonů).



Obr. 18 Schéma membrány, 1 – dvě vrstvy lipidů, 2,3,4 – bílkoviny v membráně

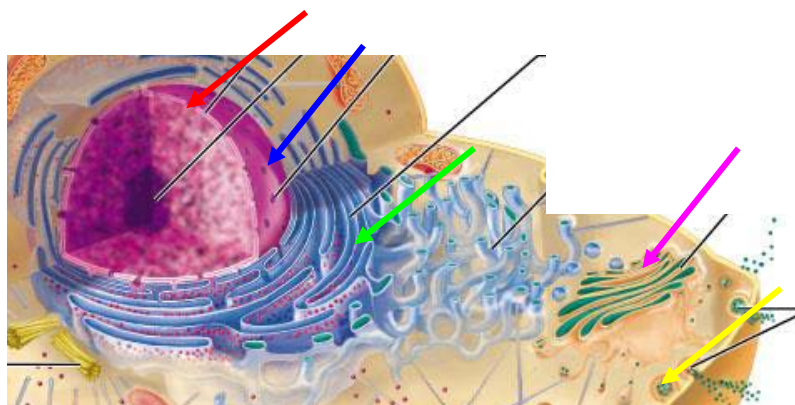
Membrány jsou nezbytné pro tzv. kompartmentaci, to jest členění buňky na různé reakční prostory, kompartmenty neboli oddíly (obr. 4). Tyto části buňky ohraničené membránami mají různé metabolické funkce. Díky kompartmentaci mohou být od sebe odděleny různé metabolické procesy a různé metabolity. Tím je umožněno i uspořádání, nasměrování a regulace metabolických procesů. Kompartmentace umožňuje, aby v jedné buňce, v jednom okamžiku probíhalo množství reakcí, které vyžadují určité, často velmi odlišné podmínky. Čím je kompartmentace dokonalejší, tím efektivněji mohou metabolické děje probíhat a tím dokonalejší může být jejich regulace. Kompartmentace také umožňuje skladovat některé látky (třeba zásobní) v buňce odděleně od enzymů, které by je mohly rozkládat, nebo skladovat látky toxické (např. ve vakuole).

Kompartmentace buňky není statická; mění se v průběhu vývinu buňky spolu s její specializací a je významně ovlivňována signály z prostředí buňky. Jednotlivé kompartmenty spolu komunikují; např. metabolity mohou být transportovány mezi kompartmenty podle potřeb buňky (např. mezi cytoplasmou a chloroplasty nebo cytoplasmou a vakuolou). Některé látky se ale v buňce mohou vyskytovat pouze v některých kompartmentech, a to buď proto, že jsou zde pevně vázány (např. fotosyntetická barviva v membránách chloroplastů) nebo proto, že membrána obklopující kompartment je pro danou látku nepropustná (např. anthokyany,

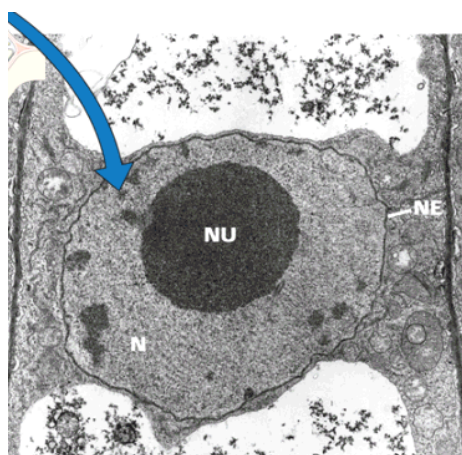
červená, fialová či modrá barviva v buněčné šťávě vakuoly). Struktura a funkce membrán bude podrobněji probrána v přednášce o transportu látek v rostlinách.

Jaké jsou základní struktury uvnitř buňky?

Buněčné jádro (obr. 4, 19, 20) obsahuje dědičnou informaci; je odděleno od cytoplasmy jaderným obalem tvořeným dvěma membránami. V těchto membránách jsou póry, kterými probíhá transport velkých molekul (např. bílkovin nebo ribonukleových kyselin). Uvnitř jádra jsou chromosomy tvořené chromatinem, jehož hlavní složkou je DNA. Jaderný obal je spojen se složitým komplexem membrán zvaným endoplasmatické retikulum (dále ER, obr. 19) s četnými funkcemi (např. tvorba určitých bílkovin na připojených ribosomech (viz dále), tvorba zásobních tuků, podíl na vzniku vakuoly apod.). Další důležitou strukturou je Golgiho aparát (Obr. 19, 21). Jak od Golgiho aparátu, tak i od endoplasmatického retikula se oddělují četné váčky, které dopravují látky na různá místa v buňce, ale i ven z buňky a obráceně.



Obr. 19 Buněčné jádro (červená šipka), jaderný pór (modrá šipka), endoplasmatické retikulum (zelená šipka), Golgiho aparát (fialová šipka) a váčky (žlutá šipka)

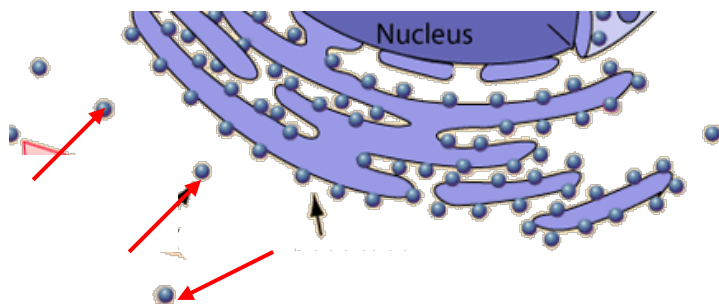


Obr. 20 Buněčné jádro (modrá šipka) v elektronovém mikroskopu, NE – jaderný obal

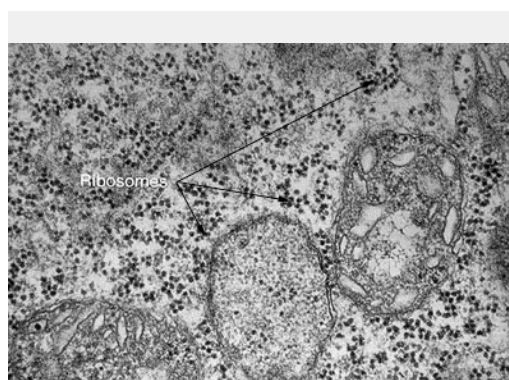
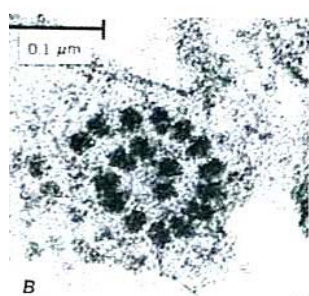


Obr. 21 Vlevo schéma Golgiho aparátu s oddělujícími se vāčky, vpravo elektronmikroskopický snímek ze zelené řasy *Chlamydomonas*

Nezbytnými složkami buněk jsou ribosomy. Ribosomy jsou drobné útvary, které nejsou od ostatních částí buňky oddělené membránou. Ribosomy jsou částice, na kterých probíhá syntéza veškerých bílkovin (proteinů), které buňka potřebuje. Některé proteiny jsou syntetizovány na ribosomech připojených k ER, jiné na tzv. volných ribosomech, uložených volně v cytoplasmě (obr. 22, 23). Ribosomy se nacházejí i v plastidech a v mitochondriích.



Obr. 22 Vlevo - ribosomy v cytoplasmě (červené šipky) a přichycené k endoplasmatickému retikulu



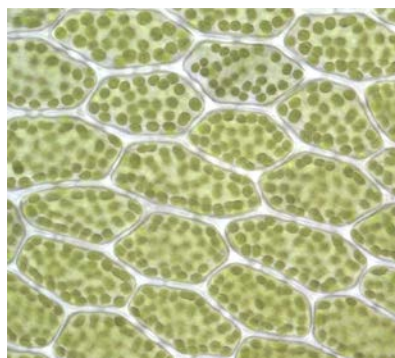
Obr. 23 Ribosomy v elektronovém mikroskopu, vlevo připojené k endoplasmatickému retikulu (pohled shora), vpravo volné v cytoplasmě

Typickou součástí rostlinných buněk jsou plastidy. Nejznámějším typem plastidu jsou zelené chloroplasty, ve kterých probíhá fotosyntéza umožňující rostlině fotoautotrofní způsob výživy. U zelených řas je často v buňce jen jeden jediný chloroplast, často charakteristického tvaru (obr. 24). U suchozemských rostlin je obvyklý větší počet plastidů (obr. 25), které mají nejčastěji čočkovitý tvar. Jejich tloušťka je obvykle mezi 3 – 4 μm a průměr mezi 5 – 8 μm. Počty chloroplastů v buňkách mohou být velmi různé, nejčastěji se pohybují mezi 20 až 50, mohou ale dosahovat i hodnot vyšších než 100. Odhaduje se, že v průměrném listu se mohou počty

chloroplastů pohybovat kolem 500 000 na mm² povrchu listu. Přítomnost většího množství drobnějších chloroplastů je výhodnější pro fotosyntézu, protože se tak zvyšuje celkový povrch, kterým může do chloroplastu vstupovat oxid uhličitý.



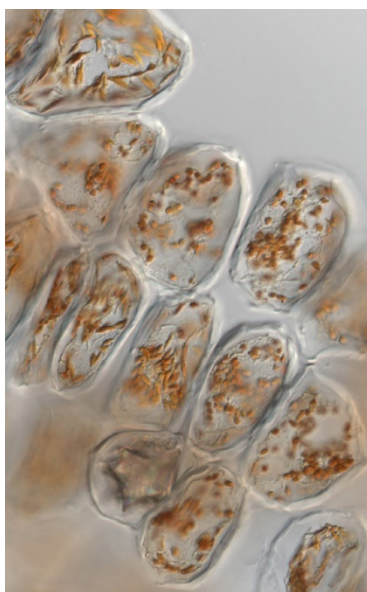
Obr. 24 Chloroplast v buňce zelené řasy šroubatka



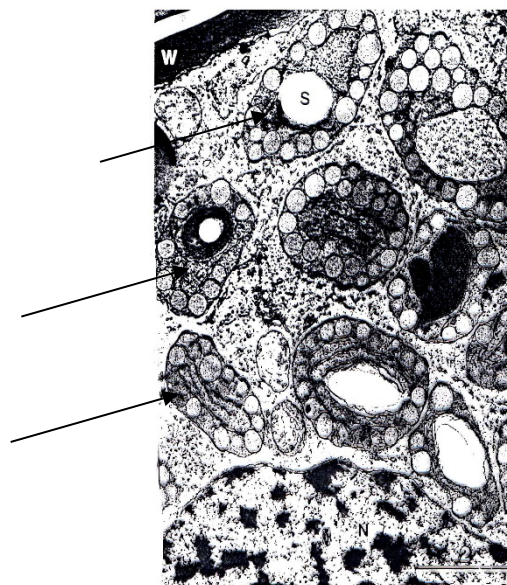
Obr. 25 Chloroplasty v buňkách lístku mechu měřík

Chloroplasty se vyskytují především v mnohých buňkách listů, v povrchových vrstvách mladých stonků, ale i v mnohých plodech, především nezralých (např. paprika, rajče, konvalinka aj.); jen výjimečně se vyskytují v kořenech – např. ve vzdušných kořenech orchidejí. Mohou se nacházet i v různých částech květu (kalich, semeník). Jejich zelené zbarvení je způsobeno přítomností zelených barviv chlorofylů (chlorofyl *a*, *b*). Kromě chlorofylů se v chloroplastech vyskytují i žluté a oranžové karotenoidy, jejich barva je však překryta chlorofyly. Stavba chloroplastů bude podrobněji pojednána v přednáškách o fotosyntéze.

V nezelených buňkách se nacházejí jiné typy plastidů. Časté jsou chromoplasty (obr. 26, 27). Chromoplasty (z řeckého chroma, barva) jsou barevné plastidy bez schopnosti fotosyntézy. Mají různé tvary a jsou zbarveny v různých odstínech žluté, oranžové a červené. Neobsahují chlorofyly a jejich zbarvení závisí na kombinaci různých typů karotenoidů. Vyskytují se nejvíce v orgánech spojených s rozmnožováním, tedy v květech či plodech. Květy zbarvené chromoplasty se vyskytují např. u blatouchu bahenního (*Caltha palustris*), u různých druhů pryskyřníků (rod *Ranunculus*), u zlatice (*Forsythia x intermedia*), u lichořeřišnice větší (*Tropaeolum majus*) a u aksamitníků neboli afrikánů (*Tagetes sp.*). Plody zbarvené chromoplasty jsou např. bobule papriky roční (*Capsicum annuum*), rajčete jedlého (*Lycopersicon esculentum*), mochně židovské třešně (*Physalis alkekengi*), konvalinky vonné (*Convallaria majalis*), nebo šípky růží – růže šípková, *Rosa canina*, růže svraskalá, *R. rugosa* aj. V těchto případech chromoplasty vznikají zpravidla přeměnou chloroplastů. Jen zřídka se vyskytují ve vegetativních orgánech (např. v kořenu mrkve – *Daucus carota* nebo v kořenových hlízách sladkých brambor – batátů, *Ipomoea batatas*).

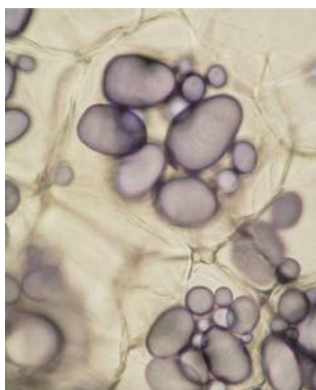


Obr. 26 Chromoplasty z bobule papriky
Světelný mikroskop



Obr. 27 Chromoplasty (šipky) z květu blatouchu
Elektronový mikroskop

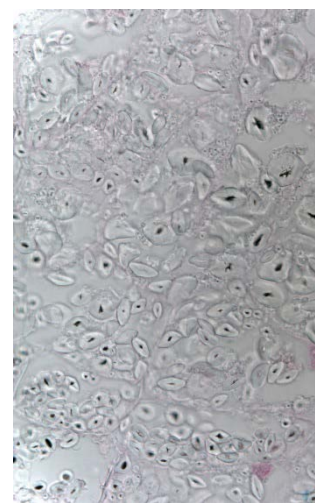
Leukoplasty (z řeckého leukos, bílý) jsou bezbarvé plastidy nacházející se především v podzemních orgánech, ale i ve vnitřních pletivech stonků, někdy i listů, v pokožce listů i stonků, v mnohých částech generativních orgánů (květů, semen, plodů) atd. Leukoplasty mají řadu funkcí, z nichž je nejznámější funkce zásobní. Stěžejní zásobní látkou rostlin, která se v leukoplastech ukládá, je škrob. Leukoplasty se zásobním škrobem se nazývají amyloplasty (z latinského amyllum, škrob). Nacházejí se zejména v zásobních orgánech (oddenky, hlízy, semena a další). Mohou se však nacházet i v různých pletivech kořenů či stonků. V amyloplastu může vzniknout jednoduché škrobové zrno (např. v hlíze lilku bramboru, *Solanum tuberosum*, v obilkách pšenice seté, *Triticum aestivum* nebo ječmene setého, *Hordeum vulgare*) nebo větší počet drobných škrobových zrn, které dohromady tvoří složené škrobové zrno (např. v obilkách kukuřice seté, *Zea mays*, rýže seté, *Oryza sativa*, ova setého, *Avena sativa*). Hlavními zdroji pro výrobu škrobu jsou v našich podmínkách především oddenkové hlízy bramboru nebo obilky pšenice, kukuřice a jiných obilovin (obr. 28 -32).



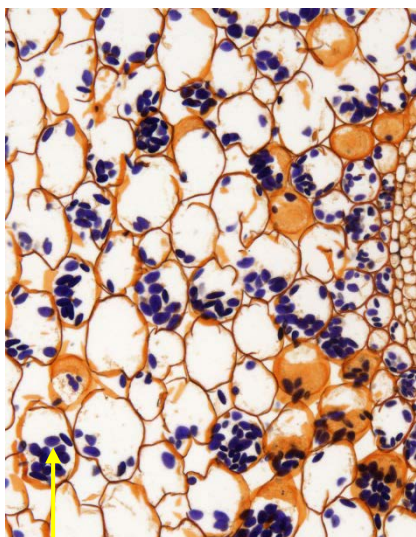
Obr. 28 Škrobová zrna v hlíze bramboru



Obr. 29 Složené škrobové zrno z obilky ova



Obr. 30 Škrobová zrna z obilky pšenice

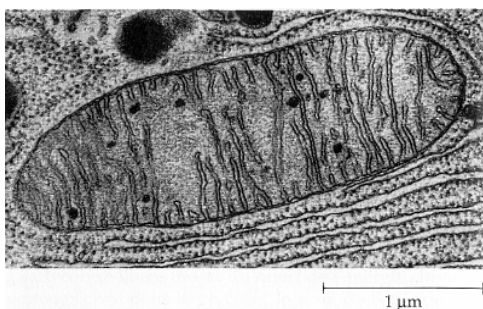


Obr. 31 Škrobová zrna v kořenu blatouchu

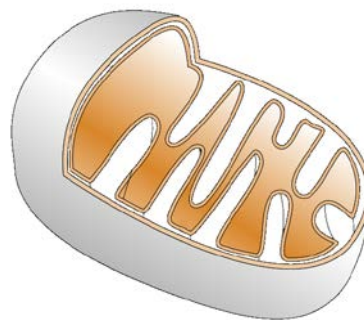


Obr.32 Škrobové zrna z obilky ječmene částečně rozložené při výrobě sladu

Mitochondrie (obr. 33, 34) jsou drobné, obvykle kulovité nebo protáhlé orgány o průměru 0,5 – 1 μm a délce 1 – 4 μm , takže ve světelném mikroskopu jsou obtížně pozorovatelné. Jsou centrem buněčného dýchání. Vzhledem k tomu jejich počet v buňkách závisí na metabolické aktivitě buňky; běžně se pohybuje ve stovkách. Podrobnější informace o mitochondriích budou probrány ve zvláštní přednášce o dýchání rostlin.



Obr.33 Mitochondrie v elektronovém mikroskopu

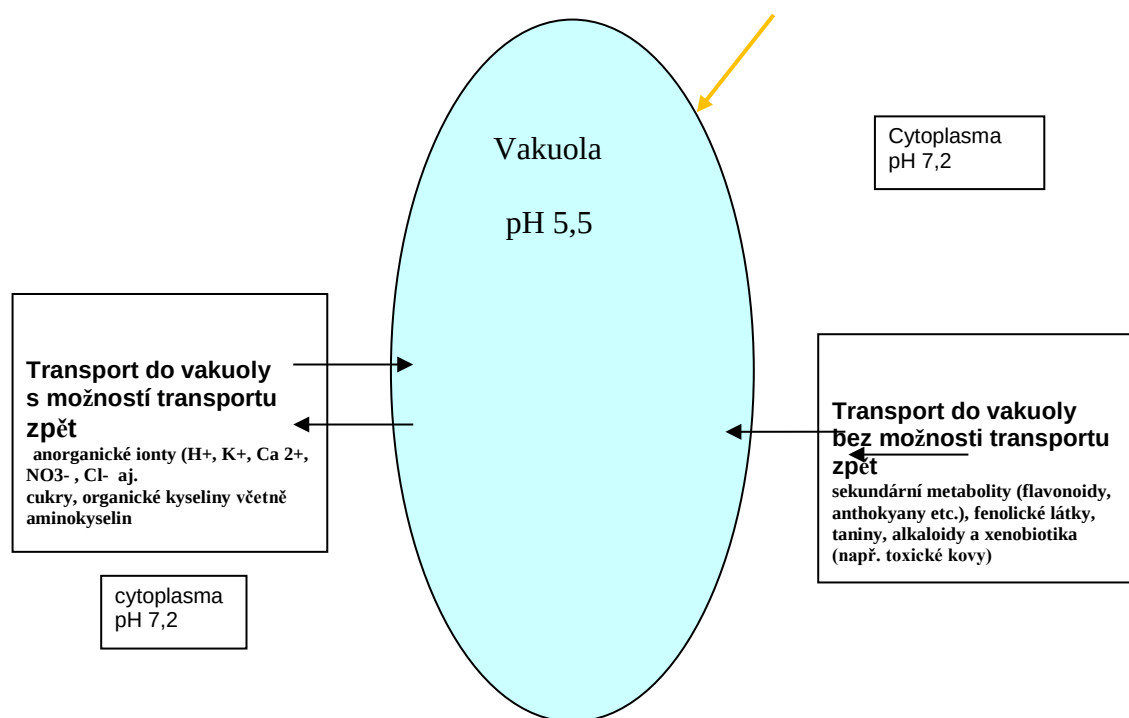


Obr.34 Model mitochondrie (podle gymtri.trinec.org)

Vakuola je běžnou součástí většiny dospělých buněk vyšších rostlin, u kterých může zaujímat od 30 do 90 % jejich objemu (výjimečně i více). Je to dutina uvnitř protoplastu ohraničená na svém povrchu membránou zvanou tonoplast (viz zelená šipka v obr. 13). Tonoplast odděluje vnitřní prostor vakuoly od cytoplasmy; zároveň reguluje transport látek mezi cytoplasmou a vnitřkem vakuoly. Vnitřek vakuoly je vyplněn buněčnou šťávou. Její pH je většinou mírně kyselé - pohybuje se nejčastěji okolo 5,5. U některých vakuol však může být i výrazně nižší. Buněčná šťáva dodává kyselou chuť mnohým plodům – např. její pH v buňkách plodů citroníku limonového (*Citrus limonia*) je kolem 2,5. Rovněž ve vakuolách listů některých rostlin může být velmi nízké pH, např. u šťavelů (rod *Oxalis*) se pH může pohybovat od asi 2,5 až po 1,3.

Buněčná šťáva je vodný roztok mnoha látek. Její složení je velmi rozmanité a závisí na typu buňky, taxonomické příslušnosti rostliny, na stáří buňky a na jejím aktuálním fyziologickém stavu. Některé látky jsou přítomny ve vakuolách běžně, jiné se vyskytují jen v určitých typech vakuol. Někdy se mohou ve vakuolách vyskytovat i látky v pevném stavu (zejména krystaly šťavelanu vápenatého). Rozmanité složení buněčné šťávy odráží i rozmanitost funkce vakuol. Některé ze složek buněčné šťávy mohou být přenášeny přes tonoplast v obou směrech, a to podle aktuálních potřeb buňky. Jiné jsou transportovány pouze jednosměrně, a sice do vakuoly (obr. 35). Obsah některých látek vykazuje sezónní změny – např. ukládání rezervních látek ve

vakuolách zásobních orgánů (oddenků, hlíz, cibulí apod.) na konci vegetační sezóny a jejich odběr z vakuol při jarním rašení.



Obr. 35 Transport látek mezi vakuolou a cytoplasmou
Žlutá šipka označuje tonoplast

Funkce vakuol

Vakuoly se významně podílejí na udržení tzv. homeostáze cytoplasmy, tj. na regulaci hodnot důležitých fyziologických parametrů. Aby mohla cytoplasmata plnit své funkce, je nezbytné, aby koncentrace metabolitů a iontů, včetně protonů (vodíkových iontů), byly udržovány na relativně konstantní výši, a to i přes kolísání jejich obsahu v prostředí. Pro udržení stálého prostředí v cytoplasmě jsou důležité transportní systémy na tonoplastu. Látky jsou neustále transportovány v obou směrech podle potřeb buňky; vakuola tak představuje vnitřní prostředí pro cytoplasmu, mající obdobnou roli pro rostlinné buňky jako mají tělní tekutiny pro buňky živočišné.

Vakuoly mají významnou funkci zásobní. Jsou v první řadě významnou zásobárnou vody. Ostatní látky rozpuštěné v buněčné šťávě pak mohou sloužit buď jako krátkodobé nebo dlouhodobé rezervy. Krátkodobé rezervy tvoří látky běžně se účastnící buněčného metabolismu; jsou z vakuoly odčerpávány nebo do ní ukládány podle aktuálních potřeb buňky. Některé vakuoly slouží ukládání rezervních látek na dlouhou dobu. Jedná se především o vakuoly zásobních orgánů (hlízy, oddenky, dělohy, endosperm aj.).

Ve vakuolách jsou skladovány látky odpadní, případně i toxické. Vzhledem k tomu, že rostliny nemají vylučovací orgány ani tělní tekutiny, je pro ně ukládání do vakuoly běžným způsobem oddělení těchto látek od metabolických center v protoplastu. Tyto látky mohou být odpadní produkty metabolismu buňky, mohou to ale být i látky, které se do buněk dostávají z vnějšího prostředí. Může se jednat o toxické kovy (Al, Cd aj.) nebo o různé cizorodé látky, tzv. xenobiotika. Schopnost ukládat cizorodé látky do vakuol je zřejmě příčinou rezistence některých rostlin vůči určitým typům herbicidů. Odpadní látky jsou ve vakuole ukládány bez možnosti zpětného transportu z vakuoly.

Ve vakuolách se ukládají látky důležité v interakcích mezi rostlinou a prostředím, především jinými organismy. Barevné látky ve vakuolách květů či plodů mohou sloužit jako signál pro

živočichy zajišťující opylování nebo roznášení plodů. Jiné typy látek mohou chránit rostlinu před býložravci, další mohou mít antibakteriální účinky. Látky ve vakuolách také mohou pohlcovat UV záření a chránit tak před ním rostlinu.

Vakuoly zajišťují růst rostlinných buněk. Příjem vody během růstu buňky zajišťuje její zvětšování, aniž by se výrazně měnilo množství protoplazmy.

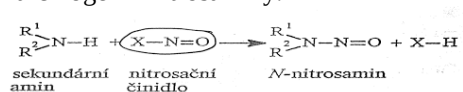
Vakuoly se podílejí na mechanické pevnosti rostliny. Příjem vody do vakuoly vytváří tlak na buněčnou stěnu, tzv. turgorový tlak, který je důležitý pro ty části rostlinného těla, kde jsou málo vyvinutá mechanická pletiva. Vakuoly plní tuto funkci pouze, jsou-li naplněny vodou, podobně jako pneumatika plní svoji funkci jen pokud je naplněná vzduchem.

Vakuoly se podílejí na rychlých pohybech některých buněk. Příkladem jsou pohyby svěracích buněk při otevírání a zavírání průduchů. Ještě rychlejší jsou pohyby lístků citlivky (*Mimosa*) při mechanickém podráždění nebo zavírání pastí masožravé rostliny mucholapky (*Dionaea*).

Přehled hlavních skupin látek, které se vyskytují ve vakuolách:

1. Anorganické ionty, především K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , H^+ , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} . Mohou být rezervou pro potřeby buněčného metabolismu nebo mohou mít funkci osmotik. Osmotika jsou látky, které ovlivňují osmotický tlak. Jako osmotikum fungují hlavně K^+ . Dusičnany, které jsou využívány pro tvorbu aminokyselin, se mohou ve vakuole hromadit, pokud jsou přijaty rostlinou ve větším množství, a jsou z vakuoly postupně odčerpávány a zpracovávány

Hromadění dusičnanů ve vakuolách může být příčinou problémů při konzumaci některých rostlinných produktů. Zdravotní nebezpečí dusičnanů vychází z jejich možné redukce bakteriemi v našem zažívacím traktu (dutina ústní, žaludek, střeva) na nebezpečné dusitany. Dusitany se např. mohou v žaludku slučovat se sekundárními aminy, které taktéž pocházejí z potravy či z některých léků nebo tabákového kouře, na karcinogenní nitrosaminy.

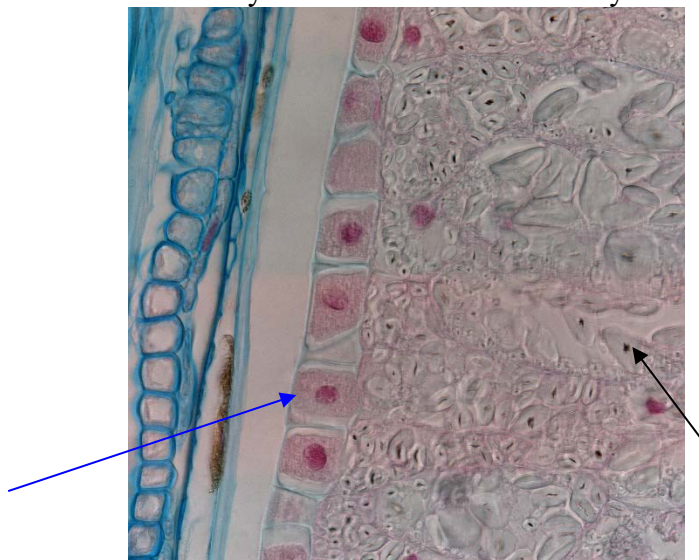


Na jejich vznik může mít vliv i kyselé pH žaludeční šťávy, které je pro tuto reakci naprosto optimální. Naopak produkce nitrosaminů může být částečně snížena vitaminem C, který pomáhá přeměně dusitanů na oxid dusnatý, případně vitaminem E. Také vláknina má vliv na snižování možnosti vzniku nitrosaminů, protože urychluje průchod tráveniny střeva. Nitrosaminy jsou velmi nebezpečné karcinogenní látky, které mohou způsobovat vznik nádorových onemocnění (žaludku, jater, tlustého střeva, močového měchýře). Rovněž mohou mít i teratogenní účinky. U kojenců (zvláště ve věku do tří měsíců) mohou vyšší přijímané dávky dusičnanů vést ke zvýšené tvorbě dusitanů a jejich následné reakci s krevním barvivem hemoglobinem. U kojenců je ještě tzv. fetální hemoglobin, který lépe reaguje s dusitany než hemoglobin A, přítomný u starších dětí a dospělých. Fetální hemoglobin reaguje s dusitany za vzniku tzv. methemoglobinu (dojde k oxidaci dvojmocného železa na trojmocné), který neumí přenášet kyslík. U kojence tak může dojít k udušení. Tento stav označujeme jako dusičnanovou alimentární methemoglobinemii a je životu nebezpečná. Projevuje se modravým zbarvením sliznic a pokožky okrajových částí těla (cyanóza), zvýšením tepové frekvence a rychlosti dýchání a snížením krevního tlaku. Kojenec doplácí mimo jiné i na zatím nedostatečně vyvinutý enzymatický systém, kdy nemá plně funkční reduktázový systém v erytrocytech a na nízkou koncentraci kyseliny chlorovodíkové v žaludku, což se projevuje vyšším pH, které umožňuje vyšší výskyt mikroorganismů zabezpečujících přeměnu dusičnanů na dusitany. Převzato z DUSIČNANY V POTRAVINÁCH Mgr. Martin Forejt, Ph.D. Ústav preventivního lékařství LF MU, Brno <http://www.medicinaproxi.cz/pdfs/med/2008/09/13.pdf>

Hlavním potravinovým zdrojem dusitanů jsou dnes však spíše masné a rybí výrobky a sýry, do nichž se tyto látky záměrně přidávají jako potravinová aditiva (dusitan sodný a draselný má označení E 250, 249, dusičnan sodný a draselný má označení E 251, E 252).

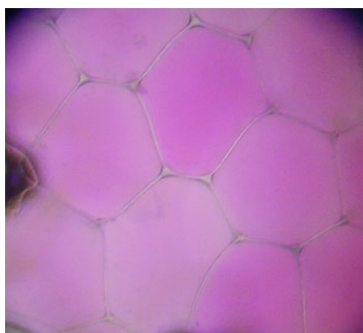
2. Primární metabolity, látky, které hrají podstatnou úlohu v buněčném metabolismu. Jedná se zejména o organické kyseliny (jablečnou, citrónovou, šťavelovou aj.), včetně aminokyselin, a dále sacharidy; tyto látky jsou využívány podle potřeb buňky a celého organismu. Příkladem může být ukládání sacharosy během dne, kdy probíhá intenzivní fotosyntéza; v noci je pak sacharosa odváděna pryč.

3. Rezervní látky. Nejčastější rezervní látky ukládané ve vakuolách jsou sacharidy rozpustné ve vodě. Mohou to být monosacharidy (glukosa, fruktosa), které jsou časté především v plodech. Z oligosacharidů je běžná sacharosa, která se může vyskytovat i v takových množstvích, která umožňují její průmyslové získávání např. z bulvy řepy cukrové (*Beta vulgaris* var. *altissima* nebo ze stonku třtiny cukrové (*Saccharum officinarum*). Z polysacharidů jsou ve vakuolách skladovány pouze ty, které jsou rozpustné ve vodě. To jsou různé druhy fruktanů (polysacharidů složených z fruktosy); vyskytují se např. u hvězdnicovitých, Asteraceae (inulin), ale i u mnohých trav (Poaceae). Ve vakuolách se dále vyskytují zásobní proteiny ve formě tzv. bílkovinových tělísek neboli aleuronových zrn (obr. 36).

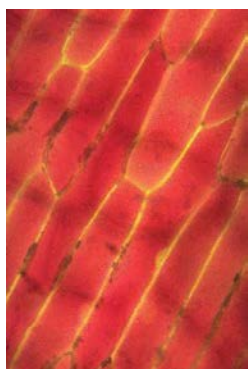


Obr. 36 Povrchové vrstvy obilky pšenice, černá šipka ukazuje buňky se škrobovými zrny, modrá buňky s droboučnými bílkovinovými tělísky. Větší červené útvary v buňkách jsou obarvená jádra

4. Sekundární metabolity. Jsou to organické látky, které nemají žádnou podstatnou funkci v základních procesech při růstu a vývoji rostliny. Jsou velmi heterogenní skupinou látek a u rostlin jsou velmi hojné. U mnohých není dosud známa žádná funkce, jiné se podílejí především na interakcích rostlin s prostředím. Mnohé z nich jsou cennými produkty pro farmaceutický nebo kosmetický průmysl. Patří sem v první řadě flavonoidy. Nejznámější flavonoidy jsou anthokyaniny - barviva rozpustná ve vodě (obr. 37). Způsobují zbarvení květů např. u druhů rodů růže (*Rosa*), pelargónie (*Pelargonium*), petúnie (*Petunia*), pivoňka (*Paeonia*), stračka (*Delphinium*), pomněnka (*Myosotis*) a mnoha dalších, nebo plodů např. ptačí zob obecný (*Ligustrum vulgare*), bez černý (*Sambucus nigra*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a dalších. Vyskytují se i v listech různých červenolistých forem rostlin (např. buku, rod *Fagus*); u některých dřevin se objevují v listech na podzim před jejich opadem. Od rostlin, ve kterých se vyskytují, získaly anthokyaniny svá jména (např. oranžově červený pelargonidin, purpurový petunidin, růžovočervený paeonidin či namodralý delphinidin). Zbarvení buněčné šťávy obsahující anthokyaniny se pohybuje v různých odstínech modré, fialové, růžové či červené. Výsledné zbarvení závisí na zastoupení a vzájemném poměru jednotlivých barviv, na pH buněčné šťávy a na vazbě s kovovými ionty (Fe^{3+} , Al^{3+}). Některé flavonoidy jsou pro lidské oko bezbarvé, ale vzhledem k tomu, že pohlcují UV záření, mohou být viděny některými druhy hmyzu schopnými toto záření vnímat. Barevné i nebarevné formy flavonoidů fungují také jako ochrana proti UV záření díky své schopnosti ho pohlcovat. Anthokyaniny jsou také doporučovány v potravě jako zdroj antioxidantů. Díky tomu jsou dnes populární kromě červeného vína i fialové brambory nebo kvěťák.



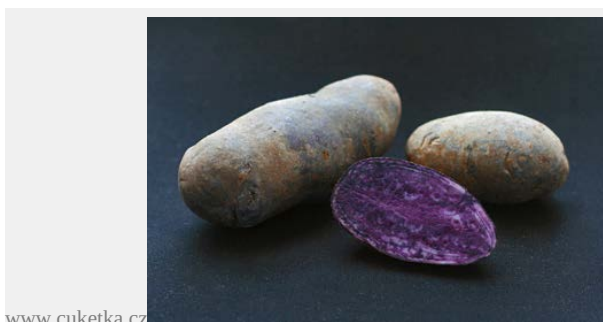
Pokožkové buňky z listu *Rhoeo discolor*



Pokožkové buňky z červené cibule



Buňky z dužniny bobule ptačího zobu



www.cuketka.cz

Odrůda brambor s anthokyany



ueb.cas.cz

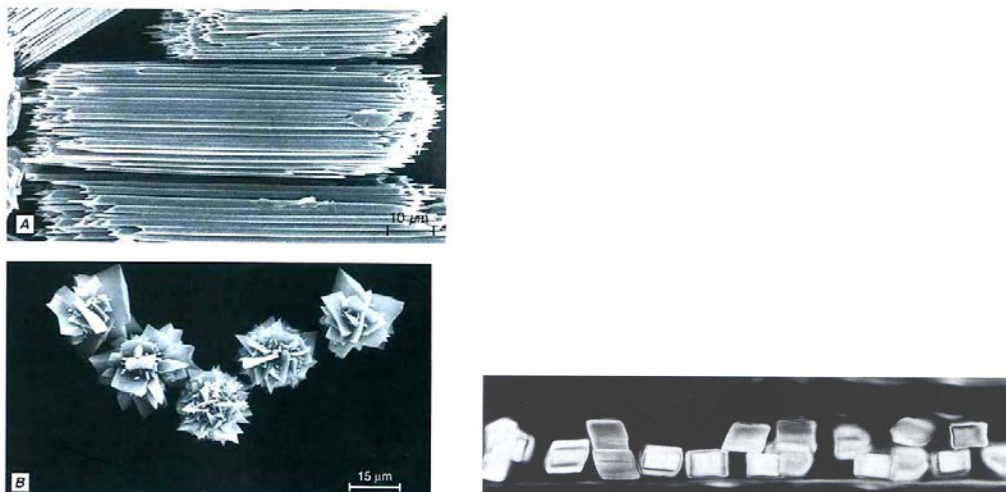
Odrůda květáku s anthokyany

Obr. 37 Příklady rostlin s anthokyany ve vakuolách

Fialový květák má mutaci v genu, který řídí tvorbu barviv zvaných antokyany. U bílého květáku je výroba těchto přírodních barviček „vypnutá“. Mutace ji ale zapíná – hlavně v hlávkách, mladých listech a semenech.

Dalšími důležitými sekundárními metabolity jsou alkaloidy (např. nikotin, kofein, kolchicin a mnohé další), taniny (deriváty kyseliny gallové), fenolické látky aj. Mnohé z nich účinkují jako látky antibakteriální (např. taniny) nebo svou chutí i účinky odpuzují býložravce.

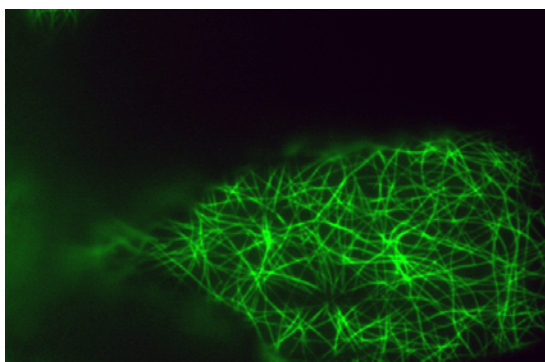
Krystaly šťavelanu vápenatého jsou velmi běžnou součástí vakuol. Šťavelan vápenatý tvoří krystaly velmi rozmanitých tvarů. Běžné jsou hranoly, které mohou srůstat v drúzy, tenké jehličkovité rafidy, protáhlé styloidy nebo droboučké krystalky tvořící krystalický písek. Veškeré funkce šťavelanu vápenatého nejsou známy. Nepochybná je zřejmě funkce v ochraně proti býložravému hmyzu a funkce ve vazbě přebytečné kyseliny šťavelové. Uvažuje se i o jejich významu v detoxikaci těžkých kovů, které byly mnohdy nalezeny jako součást krystalů. Navíc se zdá, že alespoň v některých případech není vznik šťavelanu vápenatého koncovým stavem, ale šťavelan vápenatý se může i rozkládat. V tomto případě se uvažuje i o jeho funkci jako zásobárny vápenatých iontů.



Obr. 38 Různé tvary krystalů šťavelanu vápenatého ve vakuolách

5. Hydrolytické enzymy, např. proteázy schopné rozkládat bílkoviny, nukleázy schopné rozkládat nukleové kyseliny a další. Tyto enzymy hrají významnou roli především v rozkladu nepotřebných nebo poškozených buněčných struktur, ale i v mobilizaci zásobních látek v semenech a jiných zásobních orgánech.

Cytoplasma rostlinných i živočišných buněk je prostoupena vláknitými útvary - cytoskeletem. Ten zajišťuje pozici buněčných struktur, ale i jejich přesuny v buňce. Významnou roli hraje při dělení buněk a vývoji jejich konečného tvaru. Ve světelném mikroskopu jsou tyto útvary pozorovatelné jen po speciální úpravě – viz obrázek 39.



Obr. 39 Buňka z pokožky huseníčku (*Arabidopsis*) s obarvenými vlákny cytoskeletu.

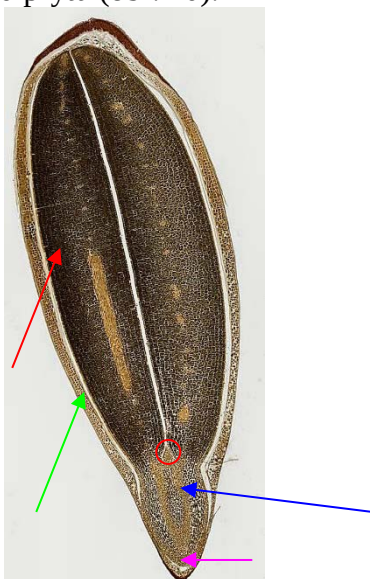
Jak vzniká tělo rostliny?

Pletiva a orgány semenných rostlin vznikají v ontogenesi z jedné buňky, zygoty, která vznikne spojením dvou pohlavních buněk (samčí a samičí pohlavní buňky neboli gamety).

Vývoj rostlinného organismu začíná vývojem embrya, které vzniká dělením zygoty a probíhá na mateřské rostlině. U semenných rostlin současně probíhá vývoj semena, jehož je embryo součástí. U rostlin krytosemenných ještě navíc současně probíhá vývoj plodu, ve kterém jsou semena uzavřena.

Ve zralém embryu rostlin semenných lze rozlišit osu embrya a jednu, dvě, případně více děloh. Podle počtu děloh v embryu se člení krytosemenné rostliny na rostliny dvouděložné (např. bobovité, hvězdnicovité, pryskyřníkovité, tykvovité, lilkovité a mnohé další) a jednoděložné (např. trávy, palmy, rostliny liliovitě a mnohé další). Rostliny nahosemenné mohou mít počet děloh různý. Osu embrya tvoří hypokotyl (stonkový článek podděložní). Ve spodní části

přechází hypokotyl v základ kořene. Na druhém konci, mezi dělohami nebo vedle dělohy (pokud je jen jedna), je základ prýtu (obr. 40).



Obr. 40 Semeno jabloně s embryem (červená šipka- děloha, zelená šipka – obal semena, osemení, modrá šipka - hypokotyl, fialová šipka – základ kořene neboli radikula, červený kroužek – základ prýtu neboli plumula

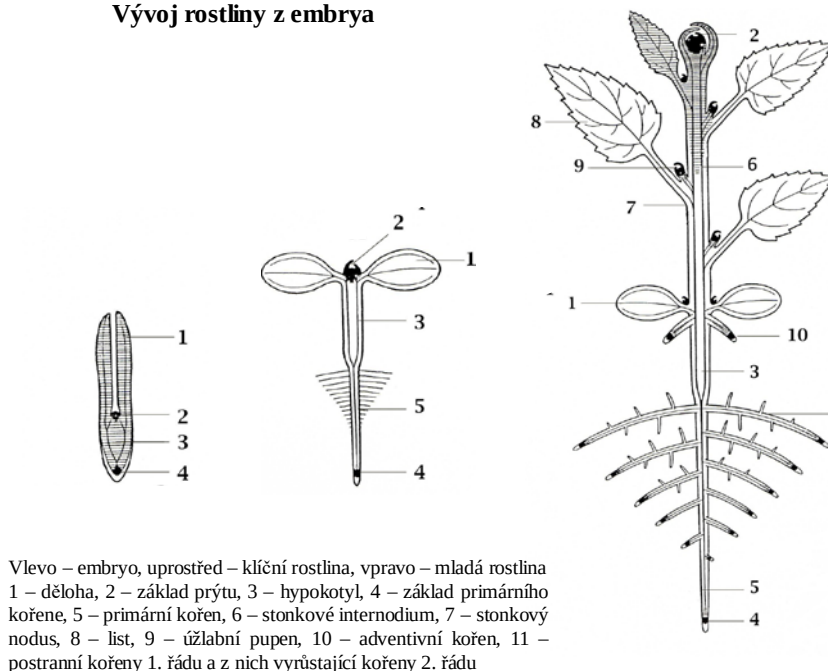
V průběhu klíčení vzniká z kořenového základu primární (hlavní) kořen, na jehož vrcholu se udržuje dělivé pletivo, tzv. vrcholový neboli apikální meristém kořene, který zajišťuje růst kořene a vytváří trvalá pletiva kořene. Primární kořen se v určité vzdálenosti od vrcholu větví. Větvením vznikají postranní (boční, laterální) kořeny, na jejichž vrcholech jsou rovněž dělivá pletiva, podobná dělivým pletivům na vrcholu hlavního kořene. Ze základu prýtu vyrůstá hlavní prýt (stonek s listy). Na jeho vrcholu, stejně jako u kořene, zůstává oblast dělivých pletiv, vrcholový neboli apikální meristém prýtu, který zajišťuje růst prýtu a dává vzniknout trvalým pletivům jak stonku, tak listů. Část dělivých pletiv odvozených od apikálního meristému prýtu se uchovává v úžlabí listů, kde tvoří tzv. úžlabní (axilární) pupeny, ze kterých pak mohou prorůst postranní větve prýtu. I na jejich vrcholech se udržují oblasti dělivých pletiv podobné jako na vrcholu hlavního prýtu (obr. 41).

Apikální meristémy se nacházejí u všech cévnatých rostlin. Apikální meristémy na vrcholu kořenů i prýtů obsahují buňky zvané iniciály, což jsou buňky, které si udržují trvalou schopnost se dělit po celou dobu existence meristému. Každá iniciála se dělí tak, že jedna z dceřiných buněk zůstává iniciálou (udržuje sebe samu), zatímco druhá buňka, tzv. derivát iniciály se dělí jen omezeně a produkty jejího dělení se postupně přeměňují na buňky trvalých pletiv. Iniciály nejsou iniciálami proto, že by měly nějaké specifické vlastnosti, které by je předurčovaly k této funkci, ale proto, že se nacházejí v pozici iniciál. Je-li iniciála poškozena, může být nahrazena z některé z okolních buněk.

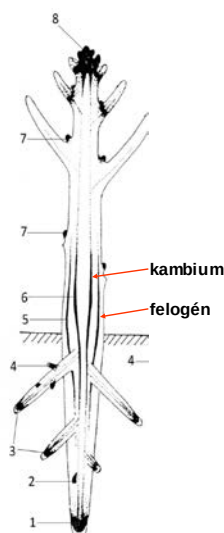
Oblast iniciál a jejich bezprostředních derivátů se nazývá promeristém (též protomeristém). Iniciály, které se opakovaně dělí po celou dobu své existence, udržují meristém jako zdroj nových buněk. Deriváty iniciál procházejí jen omezeným počtem dělení; se vzdalováním se od iniciál se přestávají dělit a postupně přeměňují na buňky trvalých pletiv. Množství buněk v apikálním meristému, které se dělí, je poměrně malé. Pro správnou funkci meristému musí být zajištěno, aby se určitá populace buněk dělila; stejně je však důležité, aby se buňky vzdalující se od iniciál přestaly dělit a začaly růst a posléze se přeměňovat na buňky trvalých pletiv. V současné době začínají být odhalovány mechanismy, které funkci meristému regulují, a to zejména díky modelovým rostlinám, především huseníčku rolnímu (*Arabidopsis thaliana*). Byly popsány některé role fytohormonů v regulaci vývoje; byla rovněž objevena řada genů, které se na těchto regulacích podílejí, a bylo prokázáno, že identita jednotlivých oblastí

meristému je často spojena s expresí určitých genů. Pod promeristémem je oblast, kde dochází k postupnému odlišení skupin stále ještě meristematických buněk. Označení těchto skupin buněk je založeno na tom, která pletiva z nich posléze vznikají. Jedná se o protoderm, který se postupně diferencuje na pokožku (pletivo krycí), prokambium nebo též provaskulární pletivo, jehož descendenty jsou buňky vodivých pletiv a základní meristém, prekursor pletiv základních. Pro tyto skupiny buněk se obvykle používá společný termín primární meristémy. Pletiva vznikající činností apikálních meristémů se nazývají pletiva primární. Mnohé rostliny se skládají pouze z těchto pletiv, která dohromady tvoří tzv. primární rostlinné tělo. Patří mezi ně většina jednoděložných rostlin a některé drobné, obvykle krátce žijící dvouděložné byliny a rostliny cévnaté výtrusné (např. kapradiny, plavuně, přesličky). Ostatní rostliny, tedy nahosemenné a většina dvouděložných, mají primární tělo jenom po určitou dobu, často velmi krátkou. Po této době se začnou přidávat k primárním pletivům ve stoncích a kořenech pletiva sekundární, začne probíhat sekundární růst. Soubor sekundárních pletiv tvoří sekundární rostlinné tělo. Tato pletiva vznikají z meristémů uložených rovnoběžně s povrchem orgánu (stonku, kořenu), které se vzhledem ke své poloze nazývají laterální (boční) meristémy (obr. 42, 43). Patří sem kambium, které vytváří sekundární pletiva vodivá a felogén, který vytváří sekundární pletiva krycí. Množství sekundárních pletiv může být malé u bylin, ale je velmi výrazné u dřevin, jejichž stonky a kořeny jsou u dospělých jedinců tvořeny převážně sekundárními pletivy. Sekundární růst bude podrobněji probrán ve zvláštní přednášce.

Vývoj rostliny z embrya



Obr. 41



Umístění meristémů v rostlině

1 – apikální meristém primárního kořene, 2 – zakládající se postranní kořen, 3 – apikální meristém postranních kořenů prvního řádu, 4 – apikální meristém postranních kořenů druhého řádu, 5 – felogén, 6 – kambium, 7 – meristém úžlabních pupenů, 8 – apikální meristém prýtu, 9 – interkalární meristém

Obr. 42

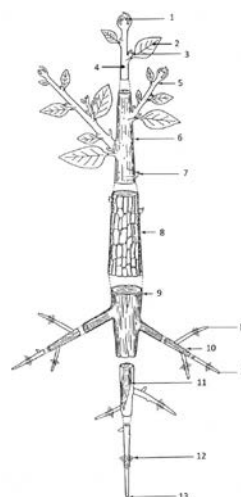


Schéma sekundárně tloustnoucí rostliny

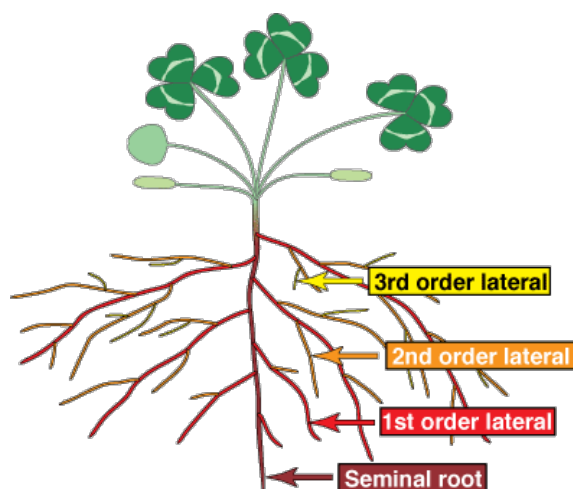
1 – apikální meristém prýtu, 2 – list, 3 – úžlabní pupen, 4 – část stonku tvořená primárními pletivami, 5 – postranní stonek, 6 – sekundárně tloustnoucí stonek, 7 – dormantní (spící) pupen, 8 – sekundárně tloustnoucí stonek s borkou na povrchu, 9 – sekundárně ztloustlá část primárního kořene, 10 – sekundárně ztloustlá část postranního kořene, 11 – počátek sekundárního tloušťnutí kořene, 12 – část kořene tvořená primárními pletivami, 13 – apikální meristém primárního kořene, 14 – apikální meristém postranního kořene prvního řádu, 15 – apikální meristém postranního kořene druhého řádu

Obr. 43

Jaká je stavba a funkce kořenů?

Kořen představuje spodní část osy rostlinného těla, která se obvykle vyvíjí pod povrchem půdy; výjimkou jsou vzdušné kořeny některých rostlin, např. mnohých orchidejí nebo bromélií. Typické kořeny mají několik základních funkcí. Nejdůležitější jsou ukotvení rostliny v substrátu, příjem vody a příjem minerálních živin z půdy a jejich transport do prýtu. Pro příjem látek z půdy je důležitý velký absorpční povrch kořenového systému, protože mnohé živiny a často i voda jsou v půdě přítomny jen ve velmi malém množství a mohou být rychle v blízkosti kořenů vyčerpány. Dostatečného příjmu živin je dosahováno neustálým růstem kořenů do nových nevyčerpaných oblastí půdy a zvyšováním absorpčního povrchu tvorbou postranních kořenů, kořenových vlásků, případně symbiózami s houbovými hyfami (viz dále). V kořenech se často ukládají významná množství zásobních látek (viz obr. 31). Zvláště významné je ukládání rezerv u mnohých dvouletých nebo vytrvalých rostlin, u kterých často na konci vegetační sezóny odumírá bylinná nadzemní část, a zimní období přežívají kořeny. Dostatek zásobních látek je u nich nezbytný pro tvorbu nových prýtů na počátku nové vegetační sezóny. Kořeny mohou mít význam i pro rozmnožování; na kořenech četných rostlin mohou vznikat pupeny a z nich nové rostliny. Kořeny některých rostlin mohou být modifikovány a specializovány i k řadě dalších funkcí. Kořeny jsou rovněž místem četných symbióz a interakcí s půdními mikroorganismy. Typické kořeny rostlin nejsou fotosynteticky aktivní, jsou heterotrofní, a musí být zásobovány asimiláty z nadzemních částí.

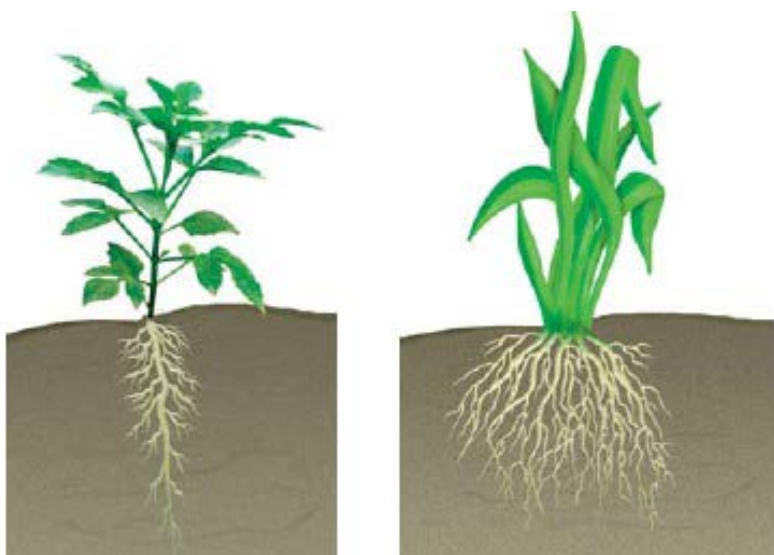
Soubor všech kořenů rostliny se nazývá kořenový systém. Ten je tvořen různými typy kořenů, které se liší způsobem vzniku. Prvním kořenem semenných rostlin je primární kořen, který vzniká při klíčení semene z radikuly (viz obr. 38), bazální části osy embrya. Tento kořen se větví (obr. 43) a vytváří postranní (též laterální nebo boční) kořeny prvního řádu, které se mohou dále větvit do druhého řádu, případně i do vyšších řádů.



Obr. 43 Kořenový systém tvořený primárním kořenem a postranními kořeny z něho vznikajícími

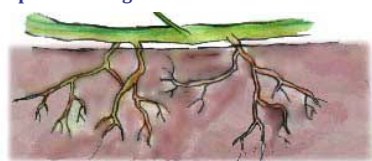
Adventivní kořeny (též přídavné, náhradní) jsou všechny jiné kořeny, než primární a postranní kořeny (obr. 45, 46). Mohou vznikat na kterémkoliv rostlinném orgánu. Nejčastěji vznikají na bazálních částech stonku, na oddencích, šlahounech. Adventivní kořeny se mohou větvit stejně jako primární kořen a vytvářejí postranní kořeny prvního případně vyšších řádů. Adventivní kořeny se mohou vytvářet spontánně na intaktních rostlinách nebo vznikají pouze za určitých okolností, např. po porušení korelací mezi orgány, při poškození rostliny nebo při změně podmínek v prostředí. Vnější vzhled kořenového systému může být neobyčejně rozmanitý. Základ jeho uspořádání je dán geneticky, tj. typem rostliny, je však značně ovlivňován i prostředím, ve kterém se rostlina vyvíjí.

U mnohých dvouděložných a nahosemenných rostlin je kořenový systém tvořen primárním kořenem, který se v různé míře větví a stává se základem celého kořenového systému (tzv. alorhizní systém (obr. 43, 44). U jednoděložných rostlin je častý homorhizní kořenový systém, tvořený velkým množstvím adventivních kořenů (např. pšenice setá, *Triticum aestivum*), které vznikají z bazálních částí stonku. Primární kořen u těchto rostlin může zanikat nebo přetrvává jako jeden z mnoha kořenů podobné velikosti (obr. 44).



Obr. 44 Kořenový systém alorhizní - vlevo a homorhizní - vpravo

Adventivní kořeny se tvoří i na různých orgánech nejen u jednoděložných rostlin a jsou běžné při mnohých způsobech vegetativního rozmnožování rostlin



Adventivní kořeny na šlahounech (např. u jahodníku, mochny aj.)



Adventivní kořeny na oddenku rákosu



Adventivní kořeny u cibule kuchyňské



List nadutě *Bryophyllum daigremontianum* s mladými rostlinkami vzniklými na okrajích listu

Adventivní kořen



List begonie s mladými rostlinkami vzniklými na nařiznutých částech listu



Adventivní kořeny na stonku rajčete

Obr. 45 Různé typy adventivních kořenů.

Adventivní kořeny se mohou tvořit i na oddělených částech rostlin



Adventivní kořeny na řízku *Coleus*



Adventivní kořeny na řízci topolu pěstovaných v explantátových kulturách (*in vitro* – ve skle)

Obr. 46

Kořenové systémy jednotlivých druhů rostlin se mohou lišit hloubkou kořenění, mírou větvení, šířkou, do které se kořeny rozrůstají atd. Primární kořen může být krátký u mělkokořenných druhů (např. smrk ztepilý, *Picea abies*), u kterých jsou pak mohutné povrchové postranní kořeny. Jindy, u hlubokokořenných druhů mohou primární kořeny prorůst do značné hloubky.

Nápadně dlouhé hlavní kořeny jsou jedním z možných přizpůsobení rostlin suchým stanovištím. Díky nim mohou tyto rostliny získávat vodu i ze spodních vlhkých vrstev půdy, případně i z podzemních vod. U našich bylin je nápadně dlouhý hlavní kořen např. u pcháče osetu (*Cirsium arvense*), který může dosahovat hloubek až 6 m. Velmi hluboké jsou kořeny

pouštních afrických rostlin z Namibijské pouště. Příkladem je meloun nara (*Acanthosicyos horridus*), který byl a stále je důležitou potravou tamních domorodých kmenů a jehož kořeny mohou dosahovat až do spodních vod v hloubce až 40 m nebo velmi zvláštní nahosemenná rostlina welwitschie podivná (*Welwitschia mirabilis*), jejíž křoví kořen dosahuje obdobných hloubek. Rovněž kořeny některých tamaryšků mohou dosahovat až hloubek 30 m. Rekordmany v délce primárního kořene jsou pravděpodobně stromy rodu *Prosopis* (z čeledi Fabaceae, bobovité) ze suchých tropických a subtropických oblastí Afriky, Ameriky i Asie, u nichž byly zaznamenány délky primárního kořene až přes 50 m (podrobnosti v přednášce o stresech).



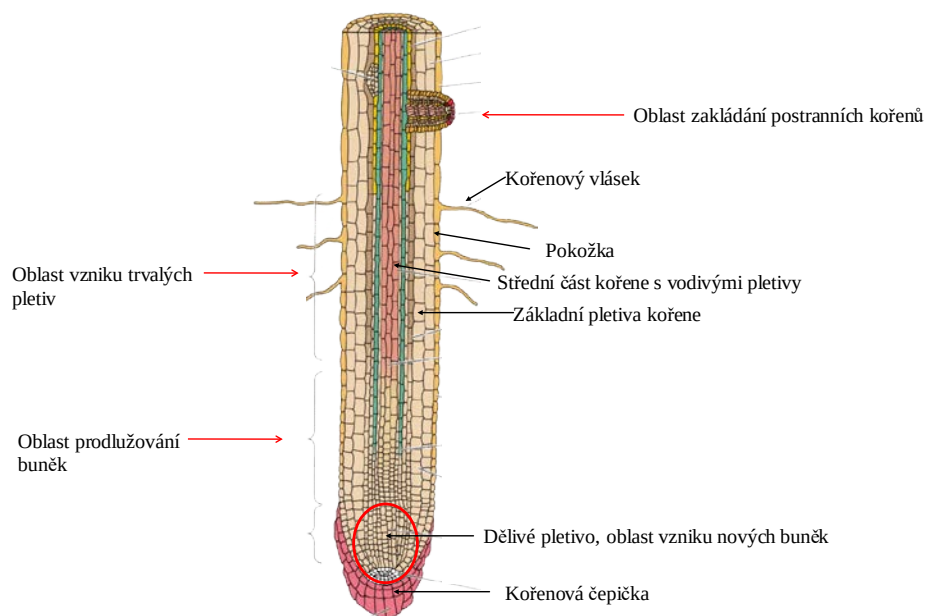
Obr. 47 Strom života z Bahrajnu – jde o rod *Prosopis* s extrémně dlouhými kořeny. Vlevo – celkový pohled, vpravo letecký snímek ukazující poušť v okolí stromu

Přestože je základní struktura kořenového systému dána geneticky, jeho růst a uspořádání výrazně ovlivňují konkrétní podmínky prostředí, daleko výrazněji než tomu je u orgánů prýtu. To souvisí s tím, že kořeny rostou ve velmi heterogenním půdním prostředí se značnými rozdíly vlhkosti, obsahu živin, kyslíku, organických látek a mechanických vlastností, na které kořeny citlivě reagují. Roste-li rostlina v trvalém dostatku vody nebo v nadbytku minerálních živin (zejména dusíku), vytváří malý kořenový systém, který za těchto podmínek stačí k zásobení prýtu. Naopak při nedostatku vody či živin (pokud samozřejmě není kritický), se vytváří mohutnější kořenový systém. Vliv nabídky živin a vody na kořenový systém lze dokumentovat na rostlinách obilovin pěstovaných za různých podmínek. Ve vodní kultuře (hydroponii), kde nejsou limitovány nedostatkem vody ani živin může kořenový systém tvořit někdy jen 5 % celkové hmotnosti rostliny, zatímco při kultivaci v půdě může tvořit mezi 20 – 50 % celkové hmotnosti. Za nízké dostupnosti dusíku a vody mohou u některých trav tvořit kořeny až 90 % celkové hmotnosti.

Kořenový vrchol

Na vrcholové části kořene (obr. 48) můžeme rozlišit několik oblastí. Na vrcholu kořene je kořenová čepička, která kryje dělivé pletivo, apikální meristém kořene, kde se tvoří nové buňky. Poněkud dále se buňky začínají postupně zvětšovat, často se prodlužují především ve směru podélné osy kořene. Tato oblast se nazývá prodlužovací zóna. Prodlužování spolu se vznikem nových buněk zajišťuje růst kořene do délky. Následuje zóna, kde se buňky postupně specializují k jednotlivým funkcím. Nad ní se pak nachází zóna větvení, kde dochází k vyrůstání postranních kořenů. Nad zónou větvení může u některých rostlin docházet k tloušťnutí kořene (sekundárnímu růstu). To je zvláště výrazné u dřevin podrobnosti budou probrány ve zvláštní přednášce o dřevinách.

Jaké je stavba vrcholu kořene?



Obr. 48 Stavba kořenového vrcholu

Kořenová čepička

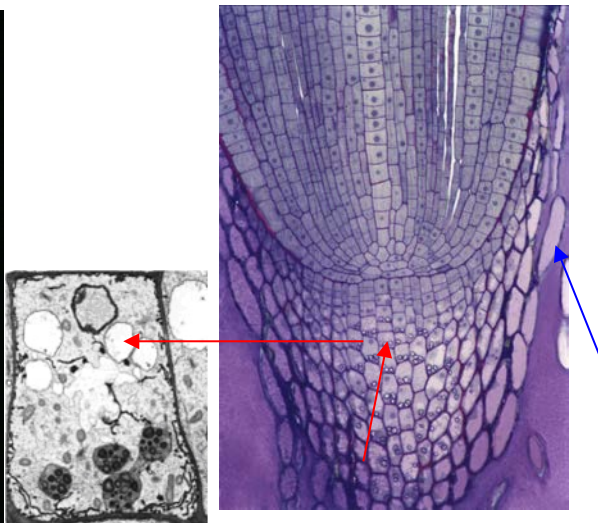
Kořenová čepička (kalyptra, z řeckého víko, poklice) je soubor živých tenkostěnných buněk, který kryje špičku kořene a obklopuje apikální meristém kořene.

Kořenová čepička je obvykle krátká, její délka jen zřídka přesahuje několik set mikrometrů. Nové buňky čepičky neustále vznikají činností apikálního meristému kořene, zatímco vnější buňky se od kořenové čepičky odlupují. V čepičce lze obvykle odlišit dvě různé oblasti (obr. 50). Střední část – sloupek neboli kolumela - je tvořena buňkami pravidelně uspořádanými v podélných řadách. Buňky obklopující kolumelu jsou uspořádány méně pravidelně; tvoří postranní (periferní, laterální) část čepičky. Buňky čepičky, zvláště kolumely, obsahují nápadné amyloplasty.

Kořenová čepička má mnoho funkcí. Je mechanickou ochranou apikálního meristému kořene a vylučuje polysacharidový sliz – mucigel (obr. 49). Mucigel se vytváří ve výrazně vyvinutém Golgiho aparátu (diktyosomech) v povrchových buňkách čepičky a je uvolňován ven z buněk. K tvorbě mucigelu přispívají kromě buněk čepičky i mladé buňky kořenové pokožky (rhizodermis) včetně kořenových vlásků (viz dále). Mucigel usnadňuje pronikání rostoucího vrcholu kořene půdou a zlepšuje kontakt povrchu kořene s půdou. Vytváří rovněž vhodné prostředí pro půdní mikroorganismy. Zřejmě i přispívá k ochraně mladých částí kořene před vysycháním.

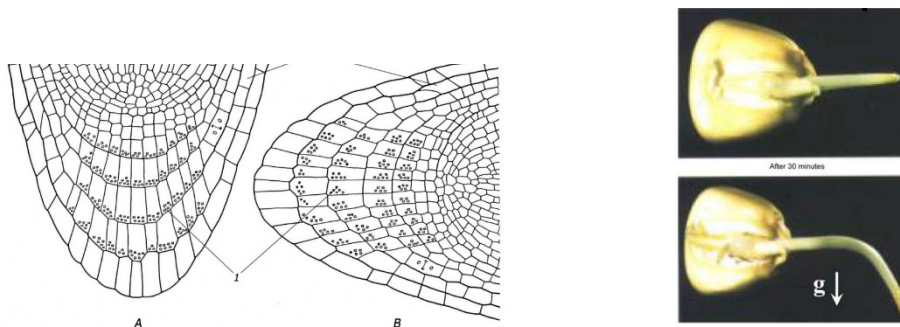


Obr. 49 Vrchol kořene s mucigelem



Obr. 50 Vrchol kořene s kořenovou čepičkou. Kolumela s amyloplasty (červená šipka), odlupující se povrchové buňky (modrá šipka), uprostřed detail buňky z kolumely

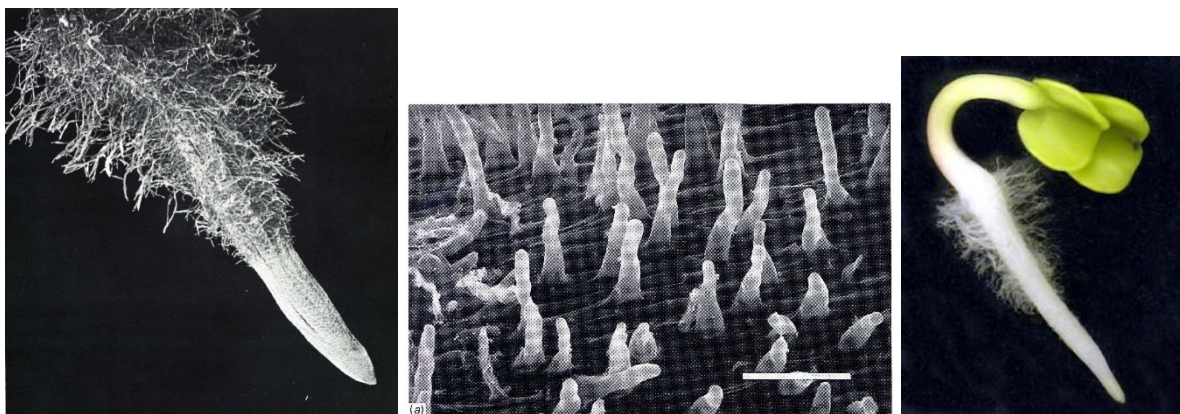
Čepička se podílí v odpovědi kořene na různé signály z vnějšího prostředí, které ovlivňují růst kořene. Nejznámější je její účast v gravitropické reakci kořene (obr. 51). Buňky kolumely obsahují nápadné amyloplasty; ty fungují jako statolity a mění svoji polohu v buňkách podle polohy kořene. Proto se též nazývají přesýpavý škrob. Změna polohy statolitů je vnímána jako signál vedoucí ke změně směru růstu kořene. Roste-li kořen vertikálně, jsou amyloplasty na spodní (distální) straně buněk. Při přesunu kořene do polohy horizontální, mění amyloplasty svoji polohu a spouštějí přenos signálu do růstové zóny kořene, kde dochází k nerovnoměrné distribuci fytohormonu auxinu na spodní a svrchní straně kořene. Vyšší množství auxinu na spodní straně je supraoptimální a brzdí růst, zatímco jeho nižší obsah na svrchní straně je optimální a růst podporuje. Tím dochází k nerovnoměrnému růstu kořene a k jeho ohybu.



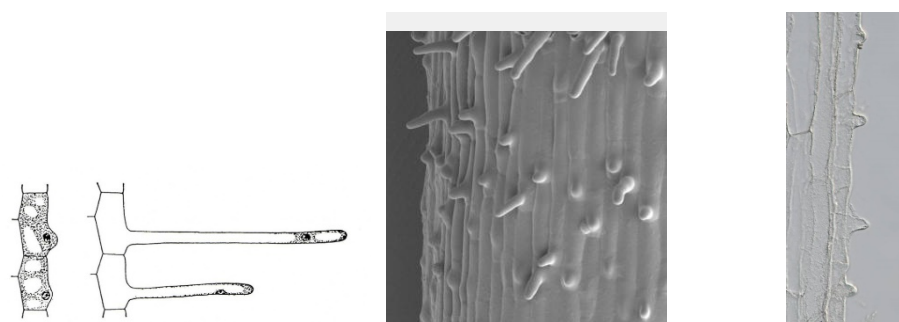
Obr. 51 Vlevo - změna umístění škrobových zrn při změně polohy kořene. Tuto změnu rostlina registruje a mění směr růstu kořene. Vpravo - změna směru růstu je patrná už po 30 minutách

Na povrchu je kořen kryt kořenovou pokožkou, rhizodermis. Rhizodermis je obvykle jednovrstevná. Její vzhled může být značně odlišný v různě starých částech kořene. V mladších částech kořene je hlavní funkcí rhizodermis zabezpečení kontaktu s okolním prostředím, kterým je zpravidla půda, a příjem vody a živin.

Vzhledem k absorpční funkci mají buňky rhizodermis v mladších částech kořene tenkou a dobře propustnou buněčnou stěnu. V určité vzdálenosti od vrcholu, obvykle tam, kde končí prodlužování kořene, vznikají v pokožce kořenové vlásky.

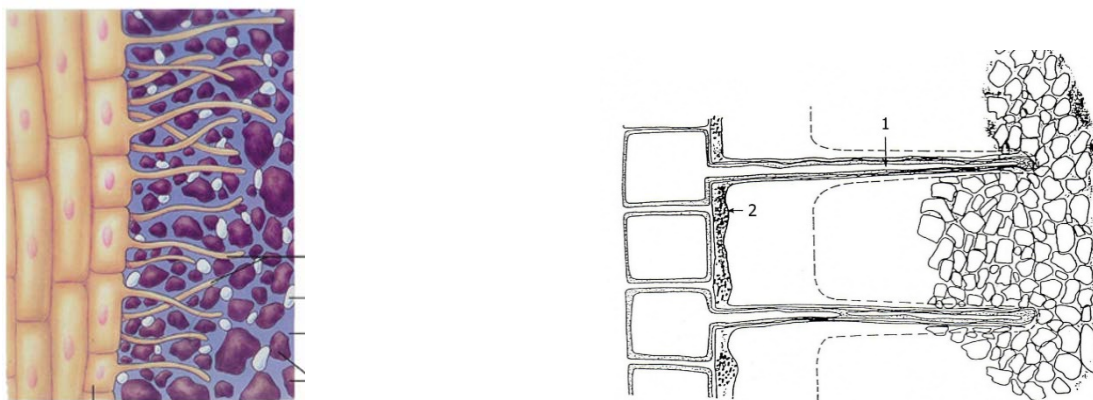


Obr. 52 Kořenové vlásky



Obr. 53 Vznik kořenových vlásků. Vlevo – schéma, uprostřed – snímek z elektronového mikroskopu, vpravo – mikrofotografie ze světelného mikroskopu

Kořenové vlásky významně zvyšují příjem živin z půdy. Příčinou je nejenom prosté zvětšení absorpčního povrchu, které může být značné. Kořenové vlásky mohou také pronikat do půdních pórů podstatně menších než je velikost kořene a naopak mohou zprostředkovávat kontakt s půdou ve větších pórech (obr. 54). Kořenové vlásky rovněž, stejně jako ostatní mladé pokožkové (rhizodermální) buňky a buňky čepičky, vylučují mucigel a ovlivňují poměry v rhizosféře i dalšími vylučovanými látkami jako je oxid uhličitý, H^+ , organické kyseliny aj.

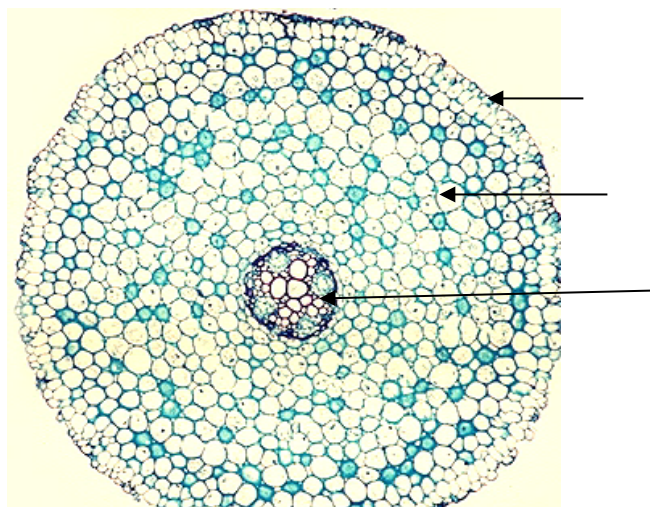


Obr. 54 - Pronikání kořenových vlásků do půdy 1 - kořenový vlasek vyrůstající z buňky rhizodermis, 2 – slizový obal kořene (mucigel), uvnitř slizového obalu jsou kolonie půdních bakterií.

Ve 30. letech minulého století byla provedena detailní analýza kořenového systému jedné rostliny žita setého (*Secale cereale*) s fascinujícími výsledky. Po 16 týdnech růstu byla suma všech kořenů (primárního, adventivních a všech postranních) $13 \cdot 10^6$ a jejich celkový povrch přesahoval 200 m^2 . Počet kořenových vlásků byl odhadnut na přibližně 10^{10} a jejich celkový povrch na 400 m^2 .

Ve starších částech kořene přestává rhizodermis postupně fungovat jako absorpční pletivo a plní převážně ochrannou funkci.

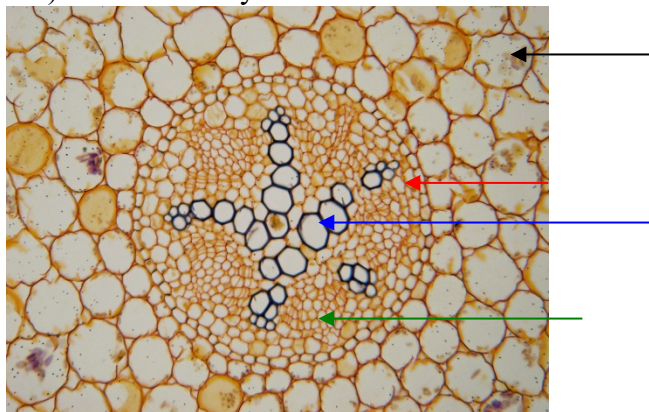
Pod pokožkou je různě silná vrstva tzv. primární kůry (obr. 55), která obklopuje střední válec s vodivými pletivy. Primární kůra je důležitá pro transport živin, vody i plynů - podrobnější údaje v přednášce o transportu. U mnohých rostlin je významná i pro ukládání zásobních látek (obr. 31).



Obr. 55 Příčný řez kořenem pryskyřníku (sydney.edu.au). Horní šipka – pokožka, střední šipka – primární kůra, spodní šipka střední válec

Střední válec (obr. 56) je tvořen periferně umístěným pericyklem a vodivými pletivy. Pericykl (z řeckého peri, dokola, okolo a kyklos, kruh) je obvykle jednovrstevný, méně často je vícevrstevný nebo přerušovaný. Pericykl je místem zakládání postranních kořenů; u druhotně tloustnoucích kořenů se z něj tvoří část kambia a později se z něj zakládá i felogén (podrobnosti v přednášce o dřevinách).

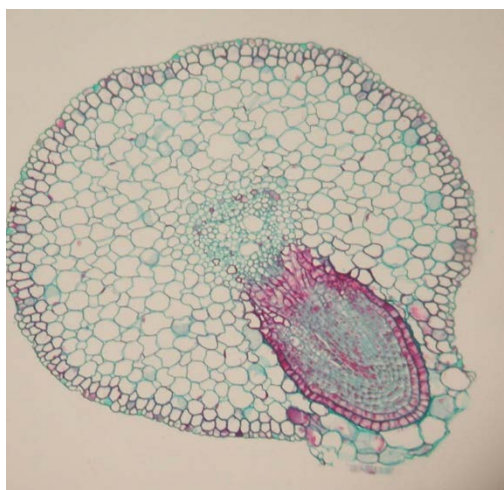
Vodivá pletiva jsou v kořenech uspořádána radiálně, to znamená, že v kořeni se paprscitě střídají části xylémové (dřevní) a floémové (lýkové). Střed středního válce může být vyplněn xylémem (jako na obr. 56) nebo se zde vytváří dřev.



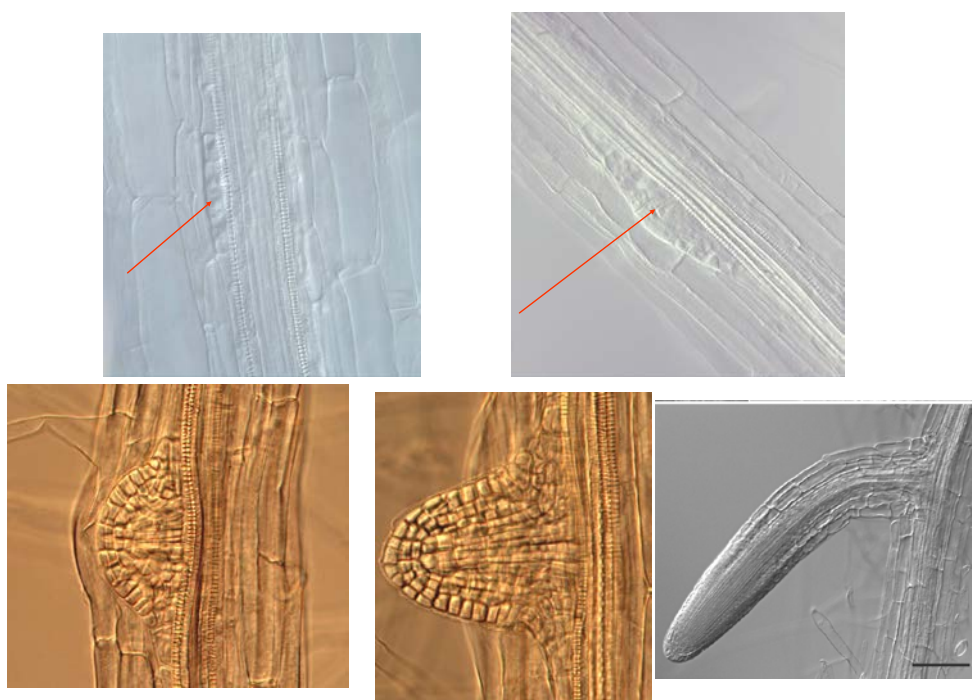
Obr. 56 Střed kořene blatouchu. Šipky – černá – primární kůra, červená – pericykl, modrá- dřevní část (xylém), zelená – lýková část (floém)

Větvení kořene

Vznik postranních (laterálních, bočních) kořenů je endogenní. To znamená, že postranní kořeny se zakládají hluboko uvnitř kořene (obr. 57). U semenných rostlin je místem vzniku postranních kořenů pericykl. Tvorba postranního kořene začíná děleními několika buněk pericyklu (obr. 58). Dalšími přesně organizovanými děleními vzniká základ postranního kořene - kořenové primordium, které postupně proniká primární kůrou a rhizodermis a proráží na povrch mateřského kořene (obr. 58).



Obr. 57 Řez kořenem pryskyřníku s vyrůstajícím postranním kořenem



Obr. 58. Vznik postranního kořene

Kořenové symbiózy

Stavba kořenů je v přirozených podmínkách často pozměněna symbiózami, které jsou u kořenů velmi hojné. Známa je symbióza s některými prokaryotními organismy schopnými přijímat molekulový dusík (N_2) ze vzduchu a přeměňovat ho na organické sloučeniny (např. aminokyseliny). Tento typ symbiózy je typický především pro naprostou většinu druhů z čeledi bobovité, Fabaceae, které patří k nejstarším kulturním rostlinám a už ve starověku se vědělo, že „zlepšují“ půdu. Prokaryotními symbionty jsou bakterie rodů *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* a dalších příbuzných druhů (tzv. hlízkové bakterie). Symbiózy jsou velmi specifické. Bakterie vstupují do kořenů kořenovými vlákny, vytvářejí tzv. infekční vlákno, které prorůstá do buněk

primární kůry. V primární kůře dochází k zvětšování a zmnožování buněk; tím vzniká hlízka (obr. 59), do jejíž buněk se uvolňují bakterie. Velikost hlízek se pohybuje většinou kolem 4 – 5 mm, přičemž jedna hlízka obsahuje několik tisíc bakterií. U vytrvalých rostlin (např. trnovník akát, *Robinia pseudacacia*, nebo čilimníky, rod *Cytisus*) mohou hlízky fungovat déle než jeden rok. Hostitelská rostlina dodává bakteriím sacharidy a od bakterií získává dusíkaté organické látky (aminokyseliny, amidy, ureidy).

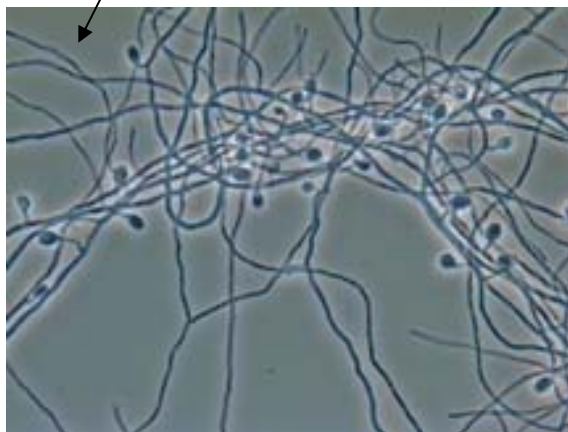


Obr. 59 Kořenové hlízky na kořenech sóji luštinaté
<http://www.bio.georgiasouthern.edu>

Symbionty fixujícími molekulový dusík mohou být i aktinomycety rodu *Frankia*. Aktinomycety jsou skupinou bakterií, které do určité míry připomínají houby, za které byly původně považovány, protože jejich protáhlé buňky se větví ve filamenta. Jsou symbionty některých dřevin, např. olše lepkavé, *Alnus glutinosa* nebo rakytíku řešetlákového (*Hippophae rhamnoides*) – obr. 60 a 61.



Obr. 60 Hlízky na kořeni olše (*Alnus* sp.)
http://en.wikipedia.org/wiki/Root_nodule



Obr. 61 Aktinomycety z hlízky olše

Zvláštním typem je symbióza cykasů se sinicemi, rovněž fixujícími N_2 . Cykasy tvoří kromě normálních kořenů zvláštní typ kořenů rostoucích směrem vzhůru, k povrchu půdy, které mohou být kolonizovány sinicemi; vznikají tak specifické tzv. korálovité kořeny. V tomto případě rostliny kromě cukrů poskytují sinicím i chráněné prostředí (obr. 62, 63).



Obr. 62 Korálovité kořeny (modrá šipka)



Obr. 63 Detail korálovitých kořenů, šipka označuje řez kořenem se sinicovou zónou

waynesword.palomar.edu

Nejčastějším typem symbióz jsou mykorrhizy, symbiotická spojení kořenů rostlin s houbami, jejichž hyfy představují rozsáhlý, větvený systém pro absorpci vody a živin, který je efektivnější než normální kořenový systém.

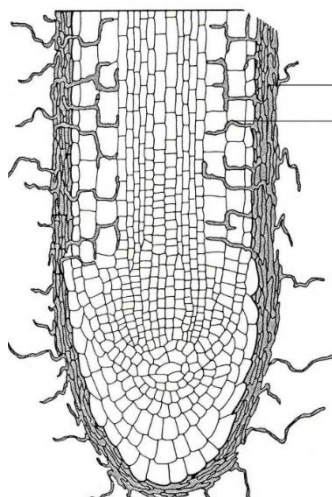
Poznámka: Hyfy jsou dlouhá větvená vlákna houby, která jsou základním stavebním prvkem těla houby. Některé houby v určité fázi života tvoří nadzemní plodnice sloužící rozmnožování (tvorba spor).

Mykorrhizy se vyskytují u velké většiny cévnatých rostlin, od bylin po dřeviny, a jsou velmi důležité pro úspěšný růst rostlin a jejich konkurenceschopnost. Hostitelská rostlina zásobuje houbu sacharidy. Hlavní role mykorrhizních hub spočívá v usnadnění příjmu živin z půdy tím, že zvětšují absorpční oblast kořenového systému a uvolňují některé hůře dostupné živiny.

Jsou známy dva základní typy mykorrhizy, ektomykorrhiza a endomykorrhiza. Ektomykorrhiza se vyskytuje asi u 3 % semenných rostlin. Je typická především pro stromy mírného pásma (např. jedle, *Abies*, borovice, *Pinus*, smrk, *Picea*, buk, *Fagus*, dub, *Quercus*, bříza, *Betula* a další). Je značně specifická a podílejí se na ní nejčastěji houby stopkovýtrusé, Basidiomycetes (např. hříbovité houby, ryzce apod.) tvořící plodnice. Plodnice hub se mohou vyvinout pouze při mykorrhize. Rovněž semenáčky dřevin rostou podstatně hůře, nevytvoří-li se vhodná symbióza. Při ektomykorrhize obalují houbové hyfy některé kořeny, především postranní kořeny druhého nebo třetího řádu (obr. 64) a pronikají mezi buňky rhizodermis a primární kůry kořene, kde vytvářejí tzv. Hartigovu síť. Obal z hyf obrůstá i špičku kořene (obr. 65). V půdních podmínkách bývá až více než 50 % kořenových špiček s mykorrhizou. U ektomykorrhiz se předpokládá, že vzdálenost, do které mohou dosahovat houbové hyfy od povrchu kořene, může být v řádu centimetrů, možná i desítek centimetrů.

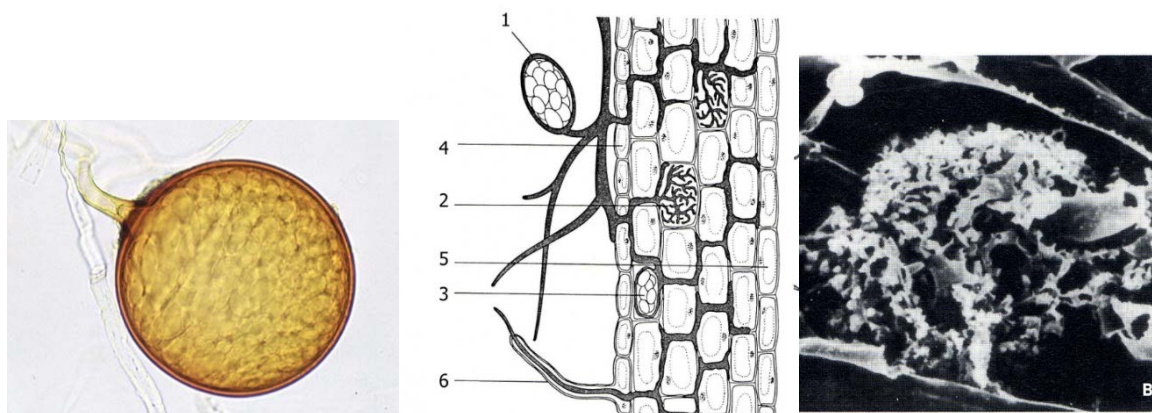


Obr. 64 Kořeny borovice černé (*Pinus nigra*) obalené houbovými hyfami. Orig. M. Vohník



Obr. 65 Schéma špičky kořene obalené houbovými hyfami; ty pronikají i do povrchových vrstev kořene, mezi buňky, kde tvoří tzv. Hartigovu síť

Endomykorhiza (obr. 66) je u rostlin mnohem rozšířenější. Nejobvyklejší typ endomykorhizy, arbuskulární mykorhiza, se může vytvářet přibližně u 80 – 90 % rostlinných druhů. Houboví symbionti netvoří plodnice; patří k řádu Endogonales, především k rodu *Glomus*. Na povrchu kořenů není, na rozdíl od ektomykorhiz, hustý obal z hyf. Hyfy těchto hub pronikají do buněk rhizodermis a zejména do buněk primární kůry, kde se větví a vytvářejí charakteristické vnitrobuněčné struktury (arbuskuly). Díky tomu se zvětšuje povrch, kde může docházet k výměně látek mezi oběma organismy.



Obr. 66 Vlevo - klíčící výtrus endomykorhizní houby *Glomus*, uprostřed podélný řez povrchovými vrstvami kořene (1- výtrus, 2 – arbuskule), vpravo – elektronmikroskopický snímek kořenové buňky, uvnitř arbuskule tvořená větvenou hyfou

Specializované typy kořenů

V průběhu evoluce došlo u mnoha rostlinných druhů ke vzniku kořenů, které se specializovaly k některým odlišným funkcím, nebo u nich došlo k převážení některé ze základních funkcí. Většina obrázků k této kapitole je součástí prezentace.

U některých popínavých rostlin (např. břečťan popínavý, *Hedera helix*) se na nadzemních částech tvoří přičepivé kořeny, které slouží přichycení rostliny např. na kmeny stromů, zdi apod. U některých lián jsou adventivní kořeny přeměněny na kořenové úponky, jimiž se rostliny přichycují k podkladu. Nejznámější je vanilka pravá (*Vanilla planifolia*).

U některých druhů je stabilita rostlin zvyšována tvorbou speciálně přizpůsobených kořenů. Často se vytvářejí chůdovité kořeny, např. ze spodních nodů některých trav (kukuřice setá, *Zea mays*), nápadné chůdovité kořeny vznikají na stonku pandánu (*Pandanus candelabrum*). Významná je tvorba těchto opěrných kořenů u dřevin rostoucích na nestabilních půdách, zejména v přímořských močálech ovlivňovaných přílivem a odlivem, tzv. mangrovech (např. rod *Rhizophora*). Tyto kořeny vyrůstají ze spodních částí stonků a obvykle obsahují značný podíl mezibuněčných prostor a slouží též transportu plynů. Velmi nápadné jsou kořeny některých fikusů z tropických oblastí, kde adventivní kořeny rostoucí z větví dolů dosahují do půdy. Tyto kořeny sekundárně tloustnou a vytvářejí opory podobné kmenům, které umožňují rozrůstání koruny do šířky.

Adaptací k životu v bažinách jsou také pneumatofory (např. u tisovce dvouřadého, *Taxodium distichum*, mangrovníku černého, *Avicennia germinans*). Tyto kořeny rostou negativně geotropicky a uvnitř mají rozsáhlý systém mezibuněčných prostor (aerenchym) sloužící transportu plynů.

Stahovací neboli kontraktilní kořeny se vyskytují u vytrvalých rostlin, které přetrvávají podzemními orgány. Nejznámější jsou u cibulovin, např. u lilie (*Lilium*), ladoňky, (*Scilla*), modřence, (*Muscari*) a dalších. Tyto kořeny se mohou zkracovat a zatahovat tak rostlinu hlouběji do půdy. Zkracování kořenů probíhá jen v jejich malé oblasti a je výsledkem smršťování buněk vnitřní části primární kůry v podélném směru. Buňky vodivých pletiv ve středním válci se nezkracují, ale jsou výrazně zkroucené.

Některé kořeny mají výraznou zásobní funkci. Dužnaté hlavní kořeny se nacházejí např. u mrkve obecné (*Daucus carota*), petržele obecné (*Petroselinum crispum*) nebo křenu selského (*Armoracia rusticana*). Jindy se vytvářejí kořenové hlízy, které vznikají zdužnatěním některých postranních nebo adventivních kořenů (např. jirina zahradní, *Dahlia pinnata* nebo orsej jarní, *Ficaria verna*). Kořenové hlízy jsou i důležitou potravou, zejména v tropických oblastech. Znamé jsou např. zdužnatělé adventivní kořeny manioku jedlého (cassava) nebo zdužnatělé postranní kořeny povijnice jedlé (sladké brambory, batáty).

Maniok je navíc plodinou, která dobře snáší nedostatek vody a chudé půdy; může být pěstován tam, kde jiné plodiny nejsou schopny růst. Navíc kromě škrobu a malého množství bílkovin obsahují důležité vitaminy a vápník. Nedostatkem je přítomnost cyanogenních glukosidů, které mohou po hydrolýze uvolňovat jedovatý kyanid. Jejich množství závisí na odrůdě a na podmínkách pěstování; tyto znalosti jsou důležité pro sklizeň kořenů s co nejmenším obsahem těchto látek. Krom toho nemohou být používány bez řádného ošetření.

Batáty jsou velmi důležité v zemích třetího světa vzhledem k tomu, že v jejich buňkách se nacházejí chromoplasty obsahující karotenoidy, které jsou zdrojem vitamínu A. Krom toho obsahují i vitaminy skupiny B a hořčík. Důležité jsou zejména odrůdy s výrazně oranžovou dužninou, kde je obsah karotenoidů nejvyšší; pomáhají eliminovat deficienci A vitamínu, zejména u dětí, která vede k poruchám zraku (např. k šerosleposti).

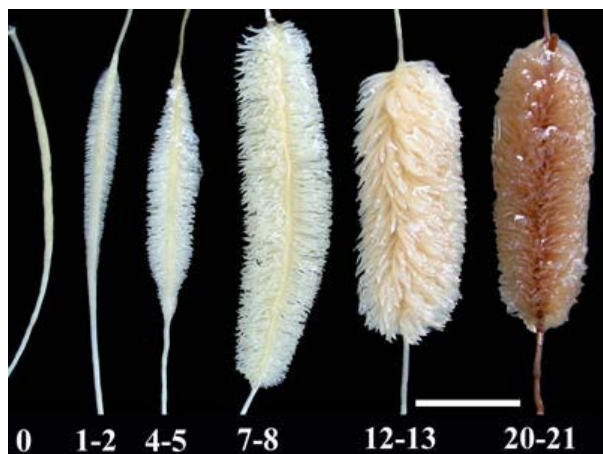
U rostlin epifytických, které žijí přichyceny na povrch kmenů či větví dřevin nebo na skály se mohou vyskytovat kořeny vzdušné. Znamé jsou především u četných orchidejí nebo bromélií. Tyto kořeny mohou obsahovat chloroplasty a může v nich probíhat fotosyntéza.

Parazitické nebo poloparazitické cévnaté rostliny získávají živiny pomocí specializovaných struktur, haustorií. Haustoria jsou zřejmě všeobecně vzniklá z kořenů, i když v některých případech je nemožné na nich najít jakékoliv strukturní rysy typické pro kořeny. Haustoria spojují tyto rostliny s hostitelskou rostlinou a pronikají do vodivých pletiv hostitele. Haustoria poloparazitů mohou pronikat do kořenů hostitelské rostliny (např. černýš rolní, *Melampyrum arvense*, světlík lékařský, *Euphrasia rostkoviana*); u epifytických poloparazitů (např. jmelí bílé, *Viscum album* nebo ochmet evropský, *Loranthus europaeus*) prorůstají haustoria do dřeva stonků hostitele. Poloparazitické rostliny jsou schopny fotosyntézy a od hostitelské rostliny získávají zejména vodu a minerální živiny. Náš nejrozšířenější parazitický druh kokotice evropská (*Cuscuta europaea*), která nemá normální listy a není schopna fotosyntézy, vytváří haustoria, jimiž přijímá ze stonku hostitelské rostliny veškeré látky potřebné k životu.

Vzácně se u rostlin kořeny nevyskytují vůbec. Příkladem mohou být některé vodní rostliny, např. růžkatec (*Ceratophyllum*) nebo masožravá vodní rostlina bublinatka (*Utricularia*).

Nahloučené neboli proteoidní kořeny a zkrácené kořeny

U řady druhů rostlin, zejména z čeledi Proteaceae (např. rody *Hakea*, *Banksia*), které rostou na půdách velmi chudých na živiny, se vytvářejí na některých místech husté shluky krátkých postranních kořenů; ty vznikají často na laterálních kořenech 1. řádu. V menší míře se za určitých podmínek vytvářejí i u některých jiných rostlin (např. lupina bílá, *Lupinus albus*, tykev obecná, *Cucurbita pepo*). Mají omezený apikální růst, jejich apikální meristém je aktivní jen dočasně. V extrémních případech mohou tvořit až 65 % celkové biomasy kořenového systému a mohou se vyskytovat i stovky těchto kořenů na 1 cm délky mateřského kořene. Funkce těchto „proteoidních“ kořenů je získávání živin, zejména fosfátu z půd chudých na živiny. U lupiny bílé (*Lupinus albus*) bylo prokázáno, že počet těchto kořenů výrazně stoupá při nedostatku fosfátů v substrátu. Kořínky vylučují do rhizosféry organické kyseliny a tím mobilizují nedostatkové živiny.



Vlevo - vznik nahloučených kořenů u *Hakea petiolaris*, vpravo - rostlina *Hakea petiolaris*